

Organização
Gustavo Molina
Carlos Henrique Carvalho e Silva

TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS:

Fundamentos à Inovação

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento



Organização
Gustavo Molina
Carlos Henrique Carvalho e Silva

TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS:

Fundamentos à Inovação

SYNAPSE Editora

Compartilhando conhecimento

Editor Chefe
Dr Washington Moreira Cavalcanti

Conselho Editorial
Dr Washington Moreira Cavalcanti
Dra Lais Brito Cangussu
Dr Rômulo Maziero
Dr Jean Canestri
Dr Paulo Henrique Nogueira da Fonseca
Msc Jorge dos Santos Mariano
Msc Daniela Aparecida de Faria

Projeto Gráfico e Diagramação
Departamento de arte Synapse Editora

Edição de Arte
Maria Aparecida Fernandes

Revisão
Os Autores

Organização
Gustavo Molina
Carlos Henrique Carvalho e Silva

ISBN: 978-65-88890-35-6
DOI: 10.36599/editpa-978-65-88890-35-6

2023 by Synapse Editora
Copyright © Synapse Editora
Copyright do Texto © 2023 Os autores
Copyright da Edição © 2023 Synapse Editora
Direitos para esta edição cedidos à
Synapse Editora pelos autores.

Todo o texto bem como seus elementos, metodologia, dados apurados e a correção são de inteira responsabilidade dos autores. Estes textos não representam de forma alusiva ou efetiva a posição oficial da Synapse Editora.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Os livros editados pela Synapse Editora, por serem de acesso livre, *Open Access*, é autorizado o download da obra, bem como o seu compartilhamento, respeitando que sejam referenciados os créditos autorais. Não é permitido que a obra seja alterada de nenhuma forma ou usada para fins comerciais.

O Conselho Editorial e pareceristas convidados analisaram previamente todos os manuscritos que foram submetidos à avaliação pelos autores, tendo sido aprovados para a publicação.

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2023

M722t Molina, Gustavo

Tecnologias de Alimentos: Fundamentos à Inovação
Organizadores: Gustavo Molina, Carlos Henrique Carvalho e Silva
Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2023, 537 p.

Formato: PDF
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-35-6
DOI: 10.36599/editpa-978-65-88890-35-6

1. Engenharia de Alimentos, 2. Fundamentos e Conceitos, 3. Inovação, 4. Tecnologia de Alimentos.

I. Tecnologias de Alimentos: Fundamentos à Inovação
II. Gustavo Molina, Carlos Henrique Carvalho e Silva

CDD: 613 - 637
CDU: 66 - 664

SYNAPSE EDITORA
Belo Horizonte – Minas Gerais
CNPJ: 20.874.438/0001-06
Tel: + 55 31 98264-1586
www.editorasynapse.org
editorasynapse@gmail.com

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento

APRESENTAÇÃO

Apresentamos o livro "***Tecnologias de Alimentos: Fundamentos à Inovação***", um material de suporte essencial para cursos de graduação em Engenharia de Alimentos e áreas correlatas. Este livro abrange uma ampla gama de tópicos, fornecendo aos estudantes e profissionais da área um conhecimento abrangente sobre os fundamentos e avanços no campo das tecnologias de alimentos.

Dividido e estruturado em 9 capítulos, o livro aborda conceitos fundamentais relacionados aos processos de produção de alimentos, desde a seleção de matérias-primas até a transformação em produtos, com abordagem abrangente em relação às tecnologias e inovações em diversos setores da indústria alimentícia. Dentre estes setores tecnológicos estão a área de leites, cereais, carnes, frutas e hortaliças, entre outros, explorando os conceitos fundamentais das tecnologias e as tendências no respectivo setor, permitindo aos leitores uma ampla compreensão das práticas atuais e emergentes. Em adição, este livro ainda aborda os avanços na área de biotecnologia na produção de alimentos e ingredientes, as inovações em embalagens, encapsulação e novas tecnologias para garantir a qualidade, segurança alimentar e desenvolvimento da indústria de alimentos.

Por fim, "***Tecnologias de Alimentos: Fundamentos à Inovação***" é um recurso didático essencial para estudantes e profissionais que desejam aprofundar seus conhecimentos sobre os processos e tecnologias utilizados na produção de alimentos, bem como explorar as tendências inovadoras que impulsionam o setor alimentício.

Gustavo Molina
Carlos Henrique Carvalho e Silva

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2023

SUMÁRIO

1 Introdução às tecnologias e fundamentação 07

2 Cereais: Tecnologia de transformação e processamento 10

3 Tecnologia e inovação no processamento de leite e derivados 72

4 Tecnologia aplicada ao processamento de frutas e hortaliças 158

5 Tecnologia aplicada ao processamento de carnes e produtos cárneos 224

6 Uso de processos biotecnológicos para a produção de ingredientes 272

7 Embalagens alimentícias: principais materiais, processos de fabricação, mercado e inovações 306

8 Tecnologia de nano e microencapsulação de ingredientes alimentares: métodos, características e aplicações 395

9 Uso da irradiação como tecnologia não térmica para a conservação de alimentos 483



DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.001

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO ÀS TECNOLOGIAS E FUNDAMENTAÇÃO

Eduardo P. G. Silva; Patrícia N. dos Santos, Gustavo Molina[1]

Desde os primórdios, os seres humanos utilizam a sua inteligência para garantir a sua sobrevivência e qualidade de vida. Deste modo, além de zelarem pela segurança e de encontrarem um ambiente propício para o desenvolvimento, havia uma preocupação com a alimentação, que também é um fator intrínseco à vida. No entanto, a alimentação vai além do aspecto nutricional, a qual utilizamos não apenas para suprir necessidades metabólicas, mas também para obtenção de prazer e satisfação.

Neste sentido, é possível inferir alguns fatores que podem ser considerados saltos representativos dentro do consumo de alimentos, como o simples fato da utilização do fogo e de ferramentas para o preparo básico dos alimentos, sendo que antigamente, o consumo consistia basicamente nos alimentos encontrados e disponíveis na natureza. E com este simples processo, ocorreu uma melhora na manipulação da comida, aumentando a qualidade nutricional, vida útil e tornando a alimentação mais diversificada (ROSA, 2012).

Outro fator significativo ocorreu logo após os adensamentos populacionais, quando o ser humano passou a ter disponível uma enorme variedade e quantidade de alimentos, principalmente devido ao advento da agricultura, domesticação e reprodução de animais. Estes fatores contribuíram para a construção dos primeiros passos do desenvolvimento tecnológico dentro da área de alimentos, uma vez que começaram a surgir as ideias sobre as formas de processamento, armazenamento e conservação de toda a matéria-prima disponível (ROSA, 2012; MCKENZIE, METCALF e SALIBA 2021; OKELLO, ODONGO, ONGENG, 2022).

Contudo, dentro da história da humanidade, várias outros períodos também foram importantes para o salto no desenvolvimento dentro do setor alimentício, os quais foram marcados com a difusão de estudos, criação métodos e equipamentos. Destes, cabe destacar os períodos das grandes revoluções industriais, que podem ser divididos em quatro grandes marcos (DZIKUNOO et al., 2021).

[1]Instituto de Ciência e Tecnologia. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

A primeira revolução, ocorrida entre 1760 a 1850, com o advento das máquinas movidas a vapor, impulsionando o desenvolvimento das caldeiras. Já a segunda, entre 1850 e 1870, que se estendeu até o final da segunda guerra mundial, foi marcada pela introdução da siderúrgica, metalúrgica e a química, implementando novas formas de produção e impulsionando a cadeia da transformação. A terceira revolução industrial, com início em meados de 1950 até 2010, foi marcada pela era da tecnologia, com a informática, biotecnologia, microeletrônica e outros, abrindo muitas frentes para o desenvolvimento do setor alimentício e os principais marcos do desenvolvimento deste setor. E, por fim, a considerada quarta revolução industrial ou indústria 4.0, com início em 2011, que visa basicamente diminuir consideravelmente a diferença entre homem e máquina, com a robótica, a nanotecnologia e inteligência artificial impulsionando inovações e desenvolvimentos aos diversos setores da economia (FIGUEIREDO, SANTOS E RIBAS, 2020).

Todos estes avanços também promoveram o setor alimentício, na qual inúmeras inovações tecnológicas foram desenvolvidas ao longo dos anos, com o intuito de suprir as necessidades e demandas dos consumidores em diferentes aspectos, seja na busca por produtos com maior praticidade, qualidade nutricional, segurança alimentar, maior vida útil, conveniência, aspectos sensoriais, nutricionais, entre diversos outros atributos (DZIKUNOO et al., 2021).

Com isto, levando em consideração todos estes fatores e os desenvolvimentos dos setores tecnológicos de alimentos, diversos novos produtos foram desenvolvidos, como aqueles adicionados de compostos bioativos, os probióticos e prebióticos, outros desenvolvidos para públicos-alvo mais específicos, como produtos light, diet, sem glúten, low carb, integrais, entre diversos outros tipos de produtos e terminologias (BRASIL, 1998; PIMENTEL, 2019, p. 16; BRASIL, 2021).

Todos estes avanços são fundamentais, uma vez que o fornecimento de alimentos para a população é crucial, sendo tanto para a sobrevivência, metabolismo ou para a apreciação, uma vez que, segundo estimativas, o crescimento populacional pode chegar até 9,7 bilhões em 2050, devendo a indústria de alimentos fornecer uma quantidade de alimentos com qualidade e compatível com o número de habitantes (SADIGOV, 2022). Portanto, identificar os fatores mais representativos que podem impactar positivamente, em uma maior produção e na aceitação dos produtos alimentícios pelo mercado consumidor é muito significativo para a indústria como um todo, podendo favorecer toda a cadeia de produção, desde o tratamento da matéria-prima até a sua comercialização (RODRIGUES et al., 2019; MCKENZIE, METC ALF, SALIBA, 2021).

Diante disto, apesar do grande potencial da área, ainda há muito a ser investigado pela Indústria de Alimentos no Brasil. Este setor da economia possui capilaridade muito representativa pelo país, ampliando as possibilidades de desenvolvimento e atuação. Neste enfoque, o livro “Tecnologias de Alimentos: Fundamentos à Inovação” foi desenvolvido com o intuito de apresentar os fundamentos de algumas das principais tecnologias de alimentos, além de aspectos de inovação e tendências de desenvolvimento destas áreas, abordando tecnologias de diferentes matérias-primas e um panorama da produção industrial de diversos alimentos e bebidas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 29, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente a Alimentos para Fins Especiais. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33864/284972/portaria_29.pdf/6caf1f67-2bdb-4d87-8ef1-977829c6c820.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 27, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/PORTARIA_27_1998.pdf/72db7422-ee47-4527-9071-859f1f7a5f29>.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 493, de 15 de abril de 2021. Dispõe sobre os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais. Disponível em:< http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3390773/RDC_493_2021_.pdf/363fcc3c-27ea-4274-b4af-b74c4444d84e>.

DZIKUNOO, J., LETSYO, E., ADAMS, Z., ASANTE-DONYINAH, D., & Dzah, C. S. (2021). Ghana's indigenous food technology: A review of the processing, safety, packaging techniques and advances in food science and technology. Food Control, 127, 108116.

FIGUEIREDO, S. C. G. de; SANTOS, C. A. M. dos; RIBAS, L. F. Engenharia de produção: Inovação na indústria 4.0. Poisson, 2020. ISBN: 978-65-5866-021-7 DOI: 10.36229/978-65-5866-021-7.

MCKENZIE, K., METCALF, D. A., & SALIBA, A. (2021). Validation of the Food Technology Neophobia Scale in a Chinese sample using exploratory and confirmatory factor analysis. Food Quality and Preference, 89, 104148.

OKELLO, R., ODONGO, W., & ONGENG, D. (2022). Consumers fear for novel food processing technologies: An application of food technology neophobia scale in the consumption of processed milk products in Northern Uganda. Applied Food Research, 2(1), 100053.

PIMENTEL, C. V. de M. B.; ELIAS, M. F.; PHILIPPI, S. T. Alimentos funcionais e compostos bioativos. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9786555761955. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555761955/. Acesso em: 22 abr. 2023.

RODRIGUES, L. C., MACEDO, C. M., & DRUMOND e CASTRO, M. C. (2019). Inovação das embalagens como fator estratégico: estudo de caso em uma indústria de alimento. Brazilian Journal of Development, 5(8), 13515-13535.

ROSA, C. A. de P. História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico. Brasília: FUNAG, 2012, 3 v. 2. ed. ISBN: 978-85-7631-393-9.

SADIGOV, R. (2022). Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Results. The Scientific World Journal, 2022.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.002

CAPÍTULO 2

CEREAIS: TECNOLOGIA DE TRANSFORMAÇÃO E PROCESSAMENTO

Marcio Schmiele[1,*], Mariana Pereira Silveira[2], Paula Thamara Goecking Gomes[1], Adrielle Reis de Souza[2], Juliana Dara Rabêlo Silva[2], Nathália de Andrade Neves[1]

RESUMO

Os cereais compreendem a uma gama de alimentos de origem vegetal amplamente utilizada na indústria alimentícia e não alimentícia. No entanto, os derivados dos cereais como pães, bolos, biscoitos e massas alimentícias são os produtos de maior aceitação pelos consumidores. Atualmente, estes produtos apresentam grandes inovações tecnológicas a fim de atender a demanda crescente dos consumidores e de nichos de mercados específicos. Neste capítulo, apresentaremos a importância dos cereais e derivados para a indústria de alimentos, bem como abordaremos as principais tecnologias de transformação e os desafios envolvidos.

Palavras-chaves: amido; biscoito; glúten; massas alimentícias; moagem; panificação.

[1]Instituto de Ciência e Tecnologia. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
[2]Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas
*E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br



INTRODUÇÃO

Os cereais são plantas anuais largamente cultivadas, sendo os frutos comestíveis (*cariopses*) de grande interesse comercial. Pertencem à família das gramíneas (*Poaceae*), a qual abrange cerca de 650 gêneros e mais de 9.000 espécies. São produzidos em todo o mundo em maiores quantidades do que qualquer outro tipo de produto, sendo a base alimentar humana, em termos energéticos, principal fonte de proteínas para alguns grupos populacionais, além de exercer importante papel na alimentação animal e como matéria-prima para o processamento industrial.

Essa estreita relação entre os homens e esse grupo de vegetais advém de tempos antigos. O domínio da agricultura e o cultivo de cereais está fortemente relacionado ao desenvolvimento das principais civilizações antigas. Durante milênios, somente as nações que tinham condições agrícolas para produzir cereais puderam desenvolver sua cultura, arte, bem-estar, poder bélico, leis, religião e dominar outros povos. Graças à capacidade de manter seus nutrientes intactos durante longos períodos de armazenamento, os cereais garantiam a sobrevivência das populações durante os períodos de entressafra, ao passo que, ao acabar a fertilidade do solo, também se desfaziam os impérios.A tendência das indústrias de alimentos é de valorizar esta matéria-prima, principalmente com o crescimento de produtos integrais e do aumento de cereais que não são comumente apreciados na alimentação. Estas mudanças exigem alterações e/ou adaptações extremamente desafiadoras nos processos tecnológicos de transformação, pois alteram as formas de apresentação ou de moagem dos cereais, desafiam as tecnologias de elaboração dos produtos derivados e dificultam a estabilidade e a estocagem. Além da indústria de alimentos, o ramo não alimentício utiliza grande parte da produção de cereais, o que faz com que a variação entre a oferta e a demanda resulte em uma variação de preços significativa. A indústria não alimentícia engloba a têxtil, de papel, de petróleo, farmacêutica, cosmética e biotecnológica. Além disso, a grande maioria dos cereais, principalmente milho e sorgo, são utilizados para alimentação animal, seja na forma de grãos ou como forrageira. A produção de cereais é bastante difundida no mundo, com uma produção de milhões de toneladas (Tabela 1).

Tabela 1. Produção anual de cereais entre 2017 e 2020, em nível mundial

Cereal	Safra (milhões de toneladas)		
	2017/2018	2018/2019	2019/2020
Milho	1.080,1	1.123,6	1.113,0
Trigo	762,9	731,5	764,5
Arroz	494,9	499,1	496,1
Sorgo	58,3	59,5	57,3
Cevada	26,9	25,6	26,8
Aveia	23,7	21,9	22,6
Centeio	12,3	10,0	11,6

Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos [USDA] (2020).

Os principais cereais produzidos no mundo são o milho, o trigo e o arroz, devido ao valor agregado e alto consumo. No Brasil, a produção para a safra 2020/2021 foi de 255,5 milhões de toneladas de grãos, sendo 115,6, 10,5 e 7,9 milhões de toneladas para o milho, o arroz e o trigo, respectivamente (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022).

PROCESSAMENTO PÓS-COLHEITA

Os traços geneticamente determinados da variedade, a localização, as condições climáticas, as propriedades do solo, o uso de fertilizantes, e o ano de plantio combinam-se para determinar a quantidade e a qualidade do rendimento que pode ser alcançado em uma determinada safra. A produção de cereais como matéria-prima industrial satisfatória inicia-se com a semeadura de sementes de alta qualidade de uma variedade sabiamente escolhida, seguida pela nutrição ótima do povoamento e da proteção contra doenças e patógenos. O rendimento é formado na última fase do período de vegetação, durante o floreio, e quaisquer efeitos a que a cultura esteja exposta durante este estágio podem ter uma influência decisiva na qualidade. À medida que o fim da produção de grãos se aproxima (início da maturação), a taxa de acúmulo de assimilação diminui e os grãos perdem água rapidamente.

O clima quente ou outros efeitos ambientais desfavoráveis (estiagem ou chuva em excesso) no estágio da maturação podem danificar as plantas, inibindo a translocação de assimilados do caule e outros órgãos da planta, resultando no desenvolvimento de grãos encolhidos (denominados de chochos), isto é, perda de rendimento e qualidade. Se a quantidade e a qualidade do rendimento devem ser preservadas, os cereais devem ser colhidos imediatamente após o amadurecimento. Na maioria das áreas de cultivo, os cereais de grãos pequenos secam na própria planta de forma suficiente para que sejam colhidos e armazenados sem danos.

No caso da colheita mecânica, a colheita pode ser iniciada com um teor de umidade de grãos de 14 % sem a necessidade de secar após a colheita. Se a capacidade de colheita é

limitada ou em regiões com clima úmido, a colheita mecânica pode começar com 16 % a 18 % de umidade, mas os custos de secagem tornam a produção menos lucrativa (Láng, Rakszegi & Bedõ, 2014).

As etapas de pós-colheita são fundamentais na oferta, o que pode ser entendido como um conjunto de medidas que visam garantir que os alimentos cheguem às mesas dos consumidores com a qualidade possível ou necessária e com custos compatíveis com a capacidade financeira da população.

O objetivo do transporte e armazenamento adequado de grãos é manter, pelo maior tempo possível, as qualidades biológicas, químicas e físicas que os grãos apresentam imediatamente após a colheita. Portanto, o armazenamento adequado de grãos é fundamental para fornecer o suprimento entre as colheitas e evitar perdas, aumentando a competitividade.

Atualmente, produzir grãos de alta qualidade é uma prioridade. No entanto, essa qualidade deve ser preservada até o momento do consumo final. Dessa forma, é necessário repensar o transporte e o armazenamento desses grãos para reduzir custos, mas sem comprometer a qualidade. As técnicas utilizadas no armazenamento de cereais visam preservar a qualidade dos grãos pelo tempo necessário para a posterior utilização como alimentos ou como ingredientes alimentares. As atividades e técnicas de pós-colheita, que lidam com produtos biológicos vivos, como os cereais, começam com o transporte das culturas agrícolas, seguido da recepção nas unidades (cooperativas) de pré-processamento ou armazenamento e terminando com acondicionamento ou armazenamento seguro. Essas atividades são complementadas por tratamentos físicos ou químicos com a finalidade de controlar tanto os processos de deterioração quanto a infestação por pragas, insetos ou roedores. Por fim, os cereais são movimentados dentro do sistema de armazenamento para expedição, tendo em vista a comercialização ou industrialização.

O transporte de grãos de cereais é um passo importante na cadeia alimentar e existem diferentes tipos a considerar: rodoviário (em caminhões, nos quais os grãos são transportados ensacados ou a granel), ferroviário (a granel em vagões dos trens) ou hidroviário (em porões de navios).

Assim, existem alguns requisitos recomendados para fornecer um bom transporte de cereais:

- Controle adequado da temperatura dos cereais;
- Bom saneamento de contêineres de transporte, incluindo controle de pragas e garantia de monitoramento e procedimentos eficazes do saneamento;
- Boa comunicação entre o transportador e o receptor;
- Treinamento apropriado e conscientização dos funcionários.

Também é importante ratificar os seguintes aspectos:

- Os cereais não devem ser transportados se não apresentarem as condições adequadas para a viagem e subsequente período de armazenamento no destino, apesar de sua resistência natural;
- Especificação da umidade relativa ou outras condições especiais ou tratamentos, se forem solicitados;
- Seleção da forma de carregamento, da esteira, do lote e da proteção para que a carga cubra todo o piso do contêiner;
- A empresa de contêineres deve inspecionar e limpar cada contêiner antes de cada viagem, para evitar a contaminação cruzada;
- Evitar o transporte de cargas mistas para diminuir o risco de contaminação cruzada;
- As práticas e condições de carregamento devem ser executadas adequadamente, incluindo saneamento adequado do equipamento de carregamento. O mesmo cuidado deve ser dado ao descarregamento dos cereais, os quais não devem ser deixados nas docas de carga por horas;
- Fornecer uma manutenção preventiva para unidades de transporte (ou instalações de armazenamento usadas durante o transporte). Se isso não for feito, pode resultar em vazamentos na cobertura, falhas nas portas e gotejamento de condensação.

Quando uma grande quantidade de cereais chega a uma instalação de armazenamento, o estado sanitário precisa ser avaliado. Essa avaliação é complexa e envolve diferentes características, como os atributos físicos, químicos, bioquímicos, microbiológicos e de qualidade em suas diversas perspectivas. A Figura 1 apresenta as diferentes avaliações a que os cereais devem ser submetidos, de acordo com sua natureza. No que diz respeito à avaliação da atividade enzimática, esta deve ser complementada com uma avaliação dos resultados, porque isso leva ao consumo de substratos e ao surgimento de novos produtos. No que diz respeito à qualidade, isso envolve a qualidade do produto como alimento a ser ingerido pelas pessoas, bem como suas habilidades tecnológicas quando o cereal é destinado à transformação posterior (Guiné & Correia, 2014).

Tendo em vista a qualidade dos cereais em grãos, a conservação está diretamente associada ao armazenamento, o que representa uma das principais razões para o desperdício, tanto em termos de perdas quantitativas quanto qualitativas, devido a sistemas inadequados de tratamento ou armazenamento. O armazenamento visa preservar as qualidades físicas, higiênicas e nutricionais dos grãos após a colheita. Durante o armazenamento, os principais fatores que influenciam a preservação dos grãos são a temperatura e a umidade relativa do ar intergranular e a temperatura e umidade dos grãos. Além desses fatores, as características estruturais e as condições higiênicas das instalações são essenciais para boas práticas de armazenamento (Guiné & Correia, 2014).



Figura 1. Avaliação do estado dos cereais antes da descarga nos locais de armazenamento.

CEREAIS E PSEUDOCEREAIS

Os cereais são os frutos de gramíneas monocotiledôneas da família Poaceae, sendo a cariopse comestível denominada de grão. Os pseudocereais, normalmente chamados de "cereais falsos", apresentam dois cotilédones (dicotiledônea) e o grão possui tamanho pequeno. Os mais conhecidos são o amaranto, a quinoa, o trigo sarraceno (*buckwheat*), o milheto ou painço, o fonio e o *teff*. Alguns autores consideram a chia como um pseudocereal. Os cereais e pseudocereais possuem o amido como componente majoritário, exceto para a chia, a qual apresenta um maior teor de lipídeos, motivo pelo qual não há unanimidade em classificá-lo como pseudocereal (Jaeckel & Schmiele, 2015). No entanto, a chia vem sendo amplamente utilizada em produtos alimentícios nos quais se utilizam os cereais, principalmente em produtos de panificação, como os multigrãos.

Milho

O grão de milho é uma cariopse nua e composto por quatro partes principais: pericarpo, gérmen, endosperma e pedúnculo e possui larga aplicação industrial devido à facilidade de conservação, de tratamento e armazenamento. O endosperma é rico em carboidratos amiláceos e dividido em duas partes, o endosperma amiláceo (*soft* ou *floury endosperm*) e o endosperma vítreo ou córneo (*hard* ou *flint endosperm*). A Figura 2 ilustra a anatomia do grão de milho. A principal diferença entre o endosperma vítreo e amiláceo é a dureza da fração, onde a proteína do endosperma vítreo apresenta maior teor de aminoácidos sulfurados e, com a maturação e desidratação do grão na lavoura, apresenta maior formação de ligações covalentes do tipo dissulfeto (S–S), promovendo maior compactação da matriz proteica sobre os grânulos de amido, resultando na expulsão do ar ocluso e em uma característica translúcida e compacta do endosperma. No caso do endosperma farináceo, esta compactação dos grânulos de amido não é tão acentuada, resultando em maior presença do ar e uma característica opaca ao endosperma.

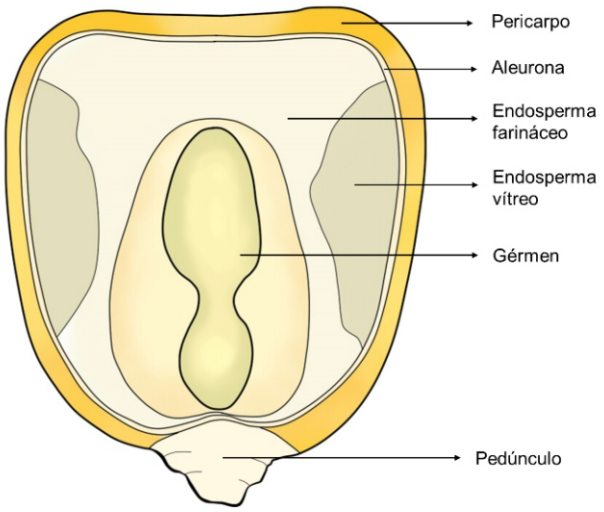


Figura 2. Anatomia do grão de milho.

Dentre as variedades de milho com maior produção, destacam-se o milho normal ou dentado (*Indentata*), o milho duro (*Indurata*), o milho ceroso (*Ceracea*), o milho doce (*Sacarata*), o milho pipoca (*Everta*) e o milho com alto teor de amilose. Em regiões andinas, ocorre uma expressiva produção de milhos coloridos (roxo, vermelho, azul, preto e lilás). No México, em função do maior consumo de milho, houve o desenvolvimento de milhos com melhoramento genético em relação ao perfil nutricional da proteína, denominados de QPM (*Quality Protein Maize*) com alto teor de lisina e *Opaque 2* com alto teor de lisina e triptofano.

Arroz

O arroz, principal alimento dos países asiáticos, é uma cariopse vestida (colhida com a casca). O Brasil é o único país não asiático que está entre os 10 principais produtores, sendo o principal do hemisfério ocidental. A origem da planta é provavelmente o sudoeste asiático, sendo a Índia apontada como a região de maior diversidade, referida como o centro de origem da espécie. Devido às condições climáticas do seu local de cultivo, a planta é adaptada ao meio aquático, graças à presença de aerênquimas radiculares. O cultivo de arroz em áreas alagadas aumenta em até 10 vezes a produtividade, graças ao suprimento ilimitado de água à lavoura, muito exigente em disponibilidade hídrica, menor competição com outras espécies invasoras e melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis. A casca do grão corresponde a 20 % do grão, sendo composta principalmente por celulose (25 %), lignina (30 %), pentosanas (15 %) e cinzas (21 %). O arroz descascado é composto por pericarpo (5-7 %), gérmen (2-3 %) e endosperma (89-94 %). O componente majoritário do arroz é o amido, mas o arroz integral ou parboilizado apresenta valores consideráveis de minerais (cálcio, fósforo e ferro), vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina) e vitamina E. Dentre os constituintes lipídicos, destacam-se a presença de orizanóis e tocotrienóis (Zhou, Robards, Helliwell & Blanchard, 2002).

Trigo

O grão de trigo é uma cariopse nua e tem por característica a parte dorsal arredondada e a parte ventral com a presença de um sulco ou reentrância longitudinal denominado de crease. A moagem do grão de trigo objetivando a produção de farinha refinada e separação do farelo e do gérmen é dificultada pela presença da crease. Neste sulco também ficam retidas poeira, sujidades e micro-organismos, dificultando a limpeza do grão de trigo. O grão é composto por 3 frações morfológicas denominadas de pericarpo, endosperma e gérmen.

O pericarpo é formado pela camada externa do grão e possui quatro camadas: epiderme, hipoderme, células cruzadas e células tubulares. O pericarpo corresponde a aproximadamente 5 % do grão e é composto por 6 % de proteínas, 2 % de minerais e 0,5 % de lipídeos, sendo o restante formado por polissacarídeos não amiláceos (celulose, hemicelulose, ligninas e substâncias pécticas) (Jaeckel & Schmiele, 2015).

O gérmen é composto por duas partes principais denominadas de eixo embrionário e escutelo e corresponde a 2,5 % do grão. Os nutrientes do gérmen são compostos por lipídeos, açúcares, proteínas de reserva, minerais, vitaminas do complexo B e E e tocoferóis. Em farinhas de trigo 100 % integrais, a presença do gérmen é o principal responsável em diminuir a vida de prateleira desta farinha, em função da oxidação lipídica.

O endosperma é a maior fração do grão de trigo (~83 %) e constitui de proteínas estruturais, amido e algumas vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina). Além disso, o grão apresenta a camada de aleurona, formada por células retangulares e largas, livres de amido, e engloba o endosperma amiláceo e o gérmen. Botanicamente, a camada de aleurona faz parte do endosperma, mas no processo de moagem esta fração é removida junto com o farelo. Na camada de aleurona é encontrada a maioria das lignanas presentes no grão. Estes polifenóis apresentam atividade bioativa com ação antioxidante, antitumoral e ação reguladora dos efeitos de estrógenos.

Com origem no sudoeste asiático, existem mais de trinta espécies do gênero, sendo somente a metade cultivada. As principais variedades de trigo produzidas no mundo são o *Triticum aestivum*, o *Triticum durum* e o *Triticum compactum*. O *T. aestivum* corresponde a maior produção, sendo amplamente aplicado em produtos de panificação, confeitaria e para uso doméstico. O *T. durum*, por sua melhor qualidade, é aplicado para a produção de massas alimentícias.

Por ser adaptada a climas amenos e secos, é considerada uma cultura de inverno. Fato este faz com que o Brasil tenha uma produção limitada desse cereal, que não está adaptado às nossas condições climáticas, mesmo com diversos trabalhos de melhoramento genético. Assim, o país mostra uma situação crônica de déficit em relação ao consumo, lançando mão da importação de países como Argentina, Paraguai, Estados Unidos, Canadá e Austrália.

Outros cereais

A cevada (*Hordeum vulgare*) foi um importante cereal utilizado na alimentação humana, na forma de pães, até o início do cultivo da batata, momento a partir do qual seu consumo diminuiu consideravelmente. No entanto, seu cultivo é ainda importante para a economia mundial graças à sua aplicação na obtenção de malte para a produção de cerveja e uísque. Embora qualquer cereal possa ser malteado, as características físicas da cevada tornam seu uso mais vantajoso, sobretudo na etapa de filtração. O principal país produtor é a Rússia, seguido da Austrália, Alemanha e França.

A aveia (*Avena sativa*) é uma cultura de inverno utilizada principalmente na alimentação animal (principalmente para equinos), sendo que, do montante produzido, somente 17 % é utilizado na alimentação humana. É considerado um alimento rico em fibras, o que justificaria o aumento do seu consumo, principalmente em dietas especiais com necessidade de redução do colesterol sérico. Os principais produtores mundiais são a Rússia, seguidos do Canadá e Austrália.

O centeio (*Secale cereale*) ocupa o oitavo lugar em produção no mundo (em área) entre os cereais. Adaptado a regiões de clima frio e seco, solos arenosos e pouco férteis, essa planta consegue crescer onde outras têm dificuldade, fato pelo qual é utilizada como adubo verde, além da utilização na alimentação humana e vegetal. A Alemanha é a principal produtora mundial, seguida da Polônia e Rússia. Os alemães consomem a farinha de centeio em dois terços dos pães produzidos no país.

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é o quinto cereal mais plantado no mundo. Adaptado a condições de estresse hídrico, milhões de hectares são plantados em regiões mais áridas da África, Ásia, Oceania e América. Os Estados Unidos são os principais produtores mundiais, seguidos do México, Etiópia e Índia. Por possui a mesma qualidade nutricional do milho, além de menor quantidade de micotoxina e menor custo de produção, o sorgo é amplamente utilizado na alimentação animal, ao passo que, sua utilização na alimentação humana é ainda um pouco restrita.

PRINCIPAIS MÉTODOS DE BENEFICIAMENTO

Antes de chegar ao consumidor, os grãos colhidos devem passar pelo beneficiamento que tem por objetivos desde a limpeza, debulha, descascamento, brunição, parboilização, quando pertinente, até a seleção, classificação e embalagem. Subsequentemente, alguns tipos de cereais requerem as etapas de transformação, de forma a atender às demandas do mercado. Essas transformações podem ser primárias, como a moagem, flocação e malteação, ou secundárias, como o cozimento e a extrusão.

O descascamento consiste na retirada das cascas em cariopses revestidas, como por exemplo o arroz. Nessa etapa, máquinas providas de dois roletes de borracha que giram em sentidos opostos e em velocidades diferentes, geram um movimento de torção que resulta na saída do grão do interior do seu revestimento. Assim, a cascas são retiradas, mas o pericarpo ainda se encontra aderido ao endosperma, sendo requerida uma etapa de brunição, na qual pedras abrasivas retiram o farelo de arroz e separam o arroz branco.

Uma alternativa ao processo descrito acima é a parboilização do arroz, que consiste em um processo hidrotérmico no qual o arroz, em casca, é imergido em água quente (60 a 70 °C) seguido de gelatinização parcial ou total do amido e secagem. Após esta etapa, os demais processos de beneficiamento, como descascamento e brunição ocorrem normalmente. Durante a imersão do arroz, a água migra para o interior do grão arrastando compostos hidrossolúveis tornando o arroz mais rico em vitaminas e minerais. Além disso, a gelatinização do amido confere maior resistência mecânica aos grãos, tornando-os menos susceptíveis aos danos causados pelas tensões provocadas durante o beneficiamento.

A moagem pode ser definida como uma etapa que tem por objetivo a separação do endosperma das demais partes (gérmen e farelo) e em sequência, a redução do tamanho das partículas do endosperma à farinha. Essa etapa pode ser realizada pela moagem em via seca ou úmida.

Embora consista em diversas operações sequenciais, a moagem pode ser resumida em três etapas fundamentais: rotura, separação e redução. A rotura consiste em partir o grão e raspar o endosperma. É realizada por cilindros que trabalham em pares e giram a velocidades distintas. Na etapa de separação, o endosperma é separado dos grãos de trigo abertos por meio de um conjunto de peneiras em camadas (*plansifter*) que distingue as partículas de acordo com tamanho e densidade, separando farelo, semolina e farinha. As partículas grosseiras e finas do endosperma são separadas antes de serem enviadas para o sistema de redução. O sistema de redução objetiva a redução das partículas do endosperma e a produção de cerca de 5-8 % de grânulos de amido danificados mecanicamente. Os grânulos de amido danificados são importantes na qualidade da farinha de trigo, influenciando nas suas características de panificação por alterar a solubilidade em água e a atividade de α-amilase. Nessa etapa também ocorre a separação do gérmen.

O milho é moído por via seca quando se objetiva apenas a redução das partículas para a produção de canjicas, fubá e grits. No entanto, quando se deseja separar o gérmen, amido e proteínas, a moagem ocorre por via úmida. Nesse processamento, ocorre primeiramente a maceração, que consiste na imersão dos grãos em uma solução ácida (0,2 a 0,4 % de SO_2 e ácido láctico) que hidrata, amacia o grão e solubiliza os sólidos solúveis do gérmen. Após a maceração, o grão é enviado para a primeira moagem que rompe o grão e libera o gérmen sem esmagá-lo. Posteriormente ocorre a degerminação, ou a separação do gérmen dos demais constituintes por diferença de densidade. A segunda moagem então ocorre reduzindo o tamanho das partículas e, assim, separando a fração que contém amido e proteína daquela contendo a parte fibrosa. Por fim, a separação do amido e da proteína é realizada por centrífuga de alta rotação.

Malteação é o processo no qual os grãos são postos a germinar sob condições ambientais controladas. Durante a germinação, há a retomada das atividades metabólicas da semente, utilizando suas reservas e, para tanto, produzindo as enzimas requeridas para a modificação do amido e das proteínas. Quando a atividade enzimática alcança os níveis desejados, a germinação é interrompida pelo calor. A malteação se inicia com a maceração dos grãos, os quais são imergidos em água por cerca de 3 a 5 dias. A germinação se inicia cerca de 12 horas após o início da maceração e ocorre até o início da emissão da radícula e caulículo. É interrompida por meio da secagem que é realizada em temperaturas que variam de 20 a 100 °C, conforme a cor que se deseja obter no malte. Após a secagem, o malte é separado da radícula e do caulículo por uma operação denominada crivagem.

A floculação é um processamento térmico no qual os grãos recebem uma injeção de vapor durante 30 a 60 minutos, aumentando a sua umidade a níveis de 18 a 20 %. Em seguida, são laminados pela ação de rolos compressores ajustados para se atingir a densidade desejada e posteriormente são secos novamente. Esse processo ocasiona no aumento da digestibilidade do amido, indicado para a alimentação humana e animal.

PRINCIPAIS COMPONENTES

Dentre os componentes dos cereais destacam-se os carboidratos e as proteínas. Entre os carboidratos estão os monossacarídeos (glicose e frutose), os dissacarídeos (maltose e sacarose), os oligossacarídeos e os polissacarídeos. Entre os polissacarídeos temos os não amiláceos compostas pelas fibras alimentares (divididas em solúveis e insolúveis) e os amiláceos, sendo o amido, o qual pode ser dividido em rapidamente digerível, lentamente digerível e resistente.

O amido é um biopolímero que pode ser isolado dos cereais, raízes e tubérculos e possui ampla aplicação da indústria de alimentos com propriedades espessante, umectante, gelificante, emulsificante, adoçante, texturizante, agente de corpo, encapsulante e formador de filme. Entre as proteínas dos cereais, a mais importante corresponde à fração das proteínas formadoras da rede de glúten, encontrada no trigo, centeio, cevada e aveia (por contaminação cruzada).

Amido

As principais fontes de amido são as plantas, por ser viável economicamente devido à abundância e facilidade de extração. O amido é a forma em que as plantas armazenam a fonte de energia (glicose) e pode ser encontrado em altas concentrações em cereais como no milho, no sorgo, no trigo e no arroz, em tubérculos como a batata e em raízes verdadeiras como a mandioca e o taro.

A síntese de amido no endosperma dos cereais ocorre de forma única e requer isoformas de enzimas que não estão presentes em outros tecidos de cereais ou mesmo em outras plantas que não são cereais. Tais enzimas proporcionam a organização das moléculas em estruturas conhecidas como grânulos, devido ao alto grau de organização da amilopectina, a distribuição não-aleatória das cadeias lineares e a conformação dupla-helicoidal entre as cadeias laterais adjacentes que contribuem para a formação de características cristalinas e de alta densidade.

Principais características

- Composição química e morfologia

O amido (Figura 3) é um polissacarídeo formado por cadeias de α-D-glicopiranose (a), formando a amilose (b) que é essencialmente linear formada por ligações glicosídicas α-1,4 e poucas ramificações compostas por ligações α-1,6 e a amilopectina (c), uma estrutura altamente ramificada formada por ligações glicosídicas α-1,4 e α-1,6.

As cadeias de amilose e amilopectina adquirem uma organização em camadas devido às ligações de hidrogênio entre as cadeias formando um grânulo com regiões amorfas e cristalinas. Na Figura 4 é possível observar uma microscopia dos grânulos de amido de milho.

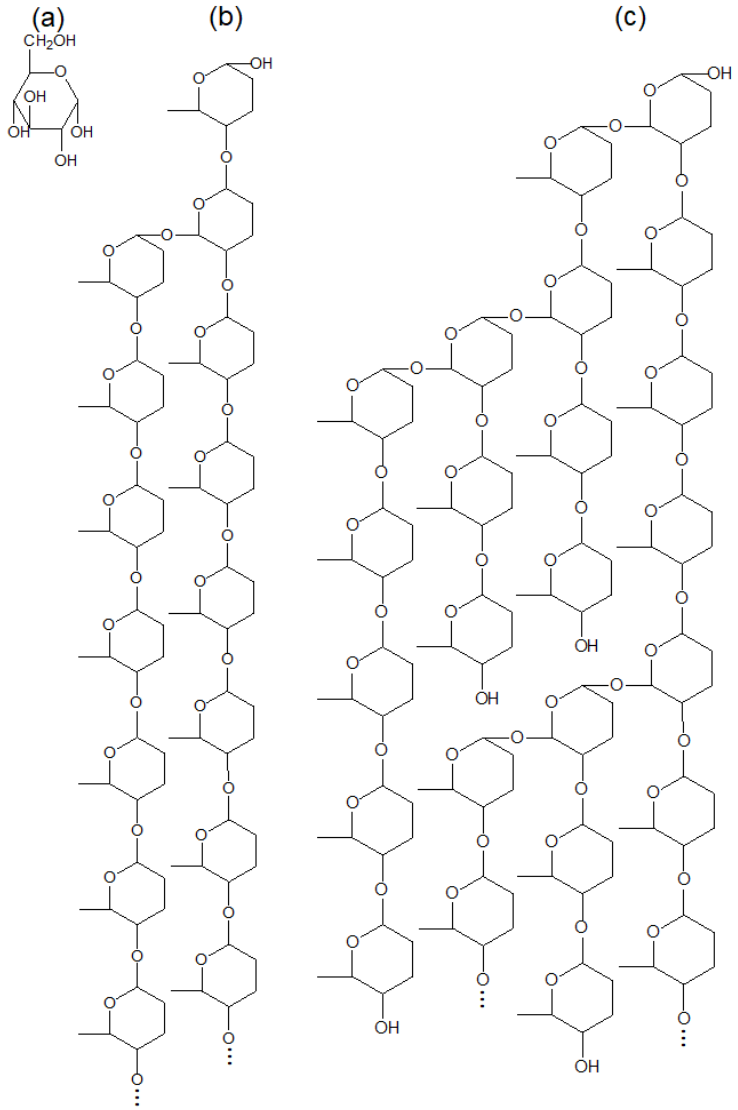


Figura 3. Representação da estrutura química da α-D-glicopiranose (a), amilose (b) e amilopectina ©.

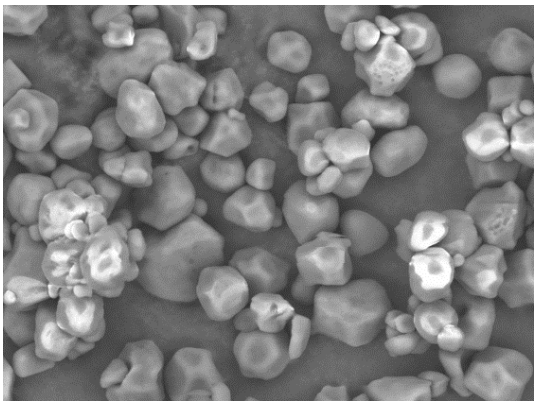


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura do amido de milho.

O teor de amilose e amilopectina variam em função da origem do amido (Tabela 2), o que fornece diferentes características para cada tipo, por exemplo, a amilose que possui o mesmo peso molecular que uma amilopectina ocupa maior volume devido à conformação de sua cadeia em forma de α-hélice.

Tabela 2. Porcentagem de amilose e amilopectina em diferentes fontes de amido

Fonte do amido	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Arroz ceroso	1	99
Milho ceroso	1	99
Arroz	16	84
Batata doce	18	82
Mandioca	18	82
Batata	18	82
Banana	21	79
Trigo	24	76
Milho	25	75
Ervilha	30	70
Milho com alto teor de amilose	70	30

Além das frações de amilose e amilopectina, tem-se a presença de um material com conformação ainda não totalmente conhecida. Esta fração é chamada de glucanas, composta por material intermediário e fitoglicogênio. Trata-se de um material heterogêneo semelhante à amilose em função da afinidade pelo iodo, mas com características análogas à amilopectina, com cadeias internas e externas com grande comprimento médio (Clerici, Sampaio & Schmiele, 2019).

Propriedades reológicas

• Gelatinização e formação de pasta

Ao misturar amido e água forma-se uma suspensão, pois o amido não é solúvel em água à temperatura ambiente devido às interações entre suas cadeias. Se esta suspensão for deixada em repouso, o amido tende a precipitar, ocorrendo a separação natural das fases. Para que a suspensão do amido em água seja estável, é necessário que ocorra a gelatinização, fenômeno no qual é necessário fornecer energia para romper as ligações de

hidrogênio entre as cadeias de amido, sendo assim realiza-se o aquecimento que fará com que as cadeias deixem de realizar ligações de hidrogênio entre si e passe a fazê-las com a água. A temperatura de gelatinização varia quanto a origem do amido e alguns exemplos podem ser observados na Tabela 3. Com isso, o processo de gelatinização faz com que a água preencha o espaço entre as cadeias, intumescendo o grânulo, promovendo o aumento da viscosidade da solução.

Os grânulos de amido que não sofreram a gelatinização apresentam a propriedade de birrefringência, fenômeno no qual aparece uma "cruz de malta" ao incidir uma luz polarizada sobre os grânulos em função da sua estrutura cristalina. Ao sofrer a gelatinização, a birrefringência desaparece sendo um indicativo para quando o amido estiver completamente ou parcialmente gelatinizado.

• Retrogradação

A retrogradação acontece após o processo de gelatinização. Quando a solução é resfriada ocorre a recristalização dos grânulos de amido pela forte tendência para formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas do polímero. No resfriamento lento ocorre maior sinérese, que é a expulsão da água que está aprisionada dentro das cadeias de amilopectina. No resfriamento rápido ocorre a gelificação, pois não há tempo para as cadeias se organizarem, ficando assim a água aprisionada dentro das cadeias e mantendo a viscosidade do gel.

Tabela 3. Propriedades de amidos provenientes de diferentes fontes de cereais, raízes e tubérculos

Propriedade	Batata	Milho	Trigo	Mandioca	Milho ceroso	Arroz
Faixa de gelatinização (ºC)	58-63-68	62-67-72	58-61-64	59-64-69	63-68-72	68-74-78
Pico de viscosidade (BU)	2900	700	250	1200	1100	500
Viscosidade de pasta	Muito alta	Média	Média-baixa	Alta	Média-alta	Média-baixa
Claridade da pasta	Translúcida	Opaca	Opaca	Translúcida	Translúcida	Opaca
Resistência ao cisalhamento	Média-baixa	Média	Média	Baixa	Baixa	Média
Taxa de retrogradação	Média	Alta	Alta	Baixa	Muito baixa	Alta

BU = Brabender Units (1BU = 12cP).

• Dilatância

Como a amido é insolúvel em água fria, as propriedades reológicas dependem da concentração. Se muito concentradas ocorre a formação de fluido dilatante, ou seja, que exibe aumento na resistência ao fluxo com o aumento na pressão ou da força de cisalhamento.

Propriedades reológicas

As propriedades reológicas de soluções de amido são medidas, principalmente, pela propriedade de pasta, normalmente medidas em um Rapid Visco Analyzer (RVA). Este viscosímetro é um equipamento capaz de descrever o comportamento da viscosidade de uma solução de amido e água ao sofrer aquecimento e resfriamento. No viscoamilograma, apresentado na Figura 5, visualiza-se a temperatura sendo aumentada gradativamente, enquanto a viscosidade aumenta de acordo com que os grânulos começam a inchar.

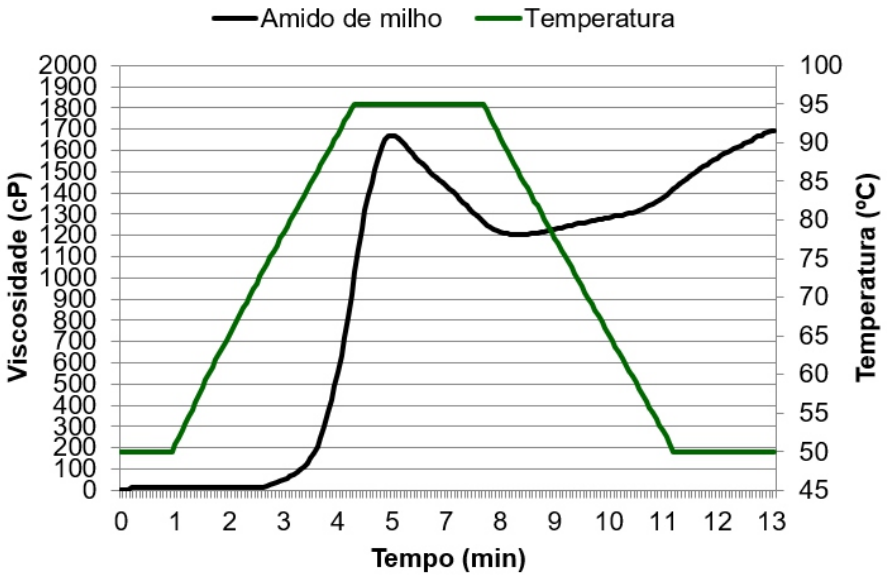


Figura 5. Viscoamilograma de amido de milho nativo.

No momento em que atinge o máximo de intumescimento dos grânulos, ocorre um pico de viscosidade, com a temperatura constante, os grânulos inchados começam a romper, diminuindo a viscosidade. Com a diminuição gradativa da temperatura, os polímeros de amilose e amilopectina começam a recristalizar promovendo a sinérese e o aumento da viscosidade do meio (Schmiele, Sehn, Santos, Rocha, Almeida, Nabeshima, Chang & Steel, 2015).

Isolamento dos amidos

Dependendo da matriz da qual o amido será isolado, basicamente 3 métodos básicos são utilizados industrialmente. A Figura 6 apresenta estes métodos, as principais características e exemplos de aplicação.

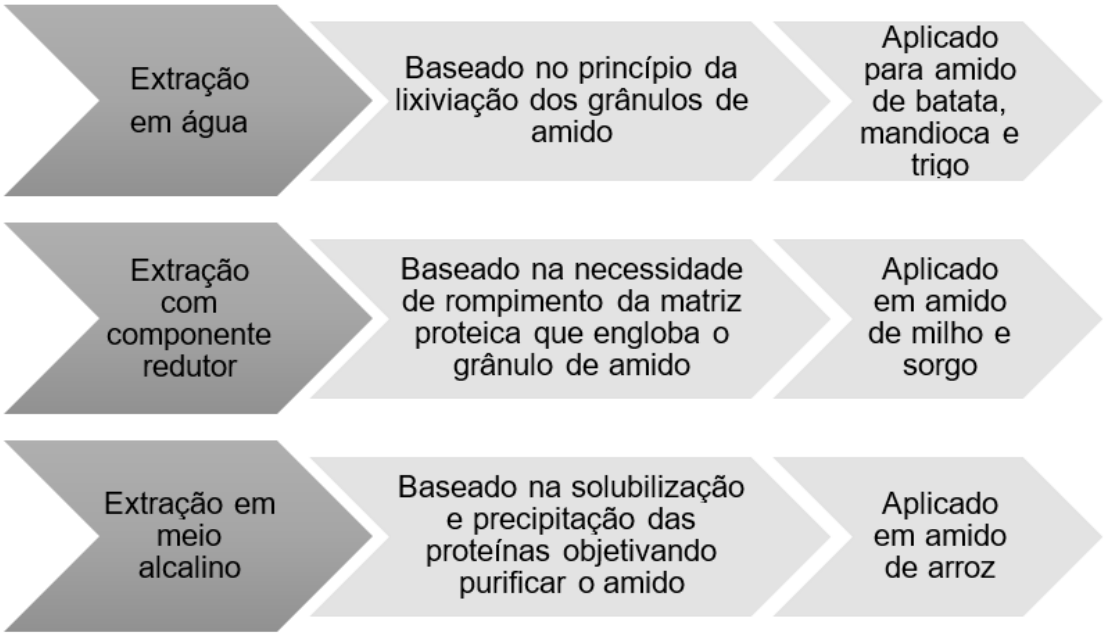


Figura 6. Métodos básicos para extração de amido.

Amidos nativos e modificados

Os amidos nativos, aqueles extraídos das fontes vegetais, são amplamente utilizados na indústria alimentícia devido sua capacidade de espessar, gelificar, emulsificar, encapsular, ser agente ligante, elemento de cobrimento, entre outras. Entretanto, os amidos nativos possuem estreitas faixas de manutenção da viscosidade, alta susceptibilidade à retrogradação, instabilidade a ciclos de congelamento e descongelamento e é insolúvel a frio. No entanto, os alimentos industrializados são, na maioria das vezes, processados e conservados em condições extremas como baixas ou altas temperaturas, pHs extremos, força mecânica e outras. Sendo assim, é necessário realizar uma modificação na estrutura do amido para contornar as deficiências apresentadas pelos amidos nativos, contribuindo assim com as propriedades necessárias para as condições de processamento e estocagem.

A modificação pode ser genética como no caso do amido ceroso, o qual é composto basicamente por amilopectina, resultando em géis de alta viscosidade a quente baixa retrogradação, no entanto, é um amido com baixa estabilidade a altas temperaturas. Outro exemplo de modificação genética é o amido de alto teor de amilose, conhecido por HiMaize®, o qual passa a ter alta temperatura de gelatinização, alta estabilidade ao tratamento térmico, baixa absorção de óleo, alta capacidade de formar filmes, baixa digestibilidade e alta retrogradação.

A modificação também pode ser feita através de enzimas amilolíticas: α-amilase, β-amilase, amiloglucoxidade, isoamilase, pululanase, isomerase e ciclodextrinaglicosiltransferase. Essas enzimas realizam a hidrólise ou ação específica das ligações glicosídicas de acordo com sua especificidade.

As modificações físicas podem ser de origem mecânica, térmica, hidrotérmica ou termomecânica. O principal objetivo é fornecer viscosidade a frio e/ou mudanças da estrutura cristalina. Quando realizada através da moagem ocorre a redução do tamanho das partículas, quebra dos grânulos de amido e formação de um pó muito fino, rompendo a estrutura e facilitando a dispersão e a penetração da água. Quando é realizada a extrusão termoplástica, atomização ou drum-dryer ocorre a pré-gelatinização do amido (Schmiele, Sampaio, Gomes & Clerici, 2019).

A modificação química pode ser feita utilizando ácidos que causam hidrólise das ligações glicosídicas no polímero. O intercruzamento com componente fosfato (difosfato) é capaz de ligar as cadeias resultando em amidos com alta temperatura de gelatinização e estáveis a pH ácido (Jaeckel, Schmiele, Rodrigues & Chang, 2015). A fosfatação liga um grupo fosfato nas hidroxilas livres, resultando em amidos com maior absorção de água, maior viscosidade, estáveis ao congelamento e descongelamento, menor tendência à retrogradação, menor sinérese e com capacidade emulsificante (Amorim, Souza, Clerici, Chang & Schmiele, 2017). O processo de oxidação dos grupos reativos, resultando na transformação química dos grupamentos alcoólicos em grupos carbonila ou carboxila, resulta em amidos com pastas mais claras e de menor viscosidade (Conto, Plata-Oviedo, Steel & Chang., 2011). O processo de esterificação ligando-se um grupo lipofílico a cadeia do amido resulta em amidos com capacidade emulsificante ou para uso como material de parede em processo de encapsulamento (Santos, Sehn, Schmiele, Chang & Steel, 2014).

Digestibilidade do amido

A digestibilidade do amido pode ser dividida em três fases: rapidamente digerível, lentamente digerível e resistente. Os exemplos conhecidos de amidos resistentes estão apresentados na Figura 7.

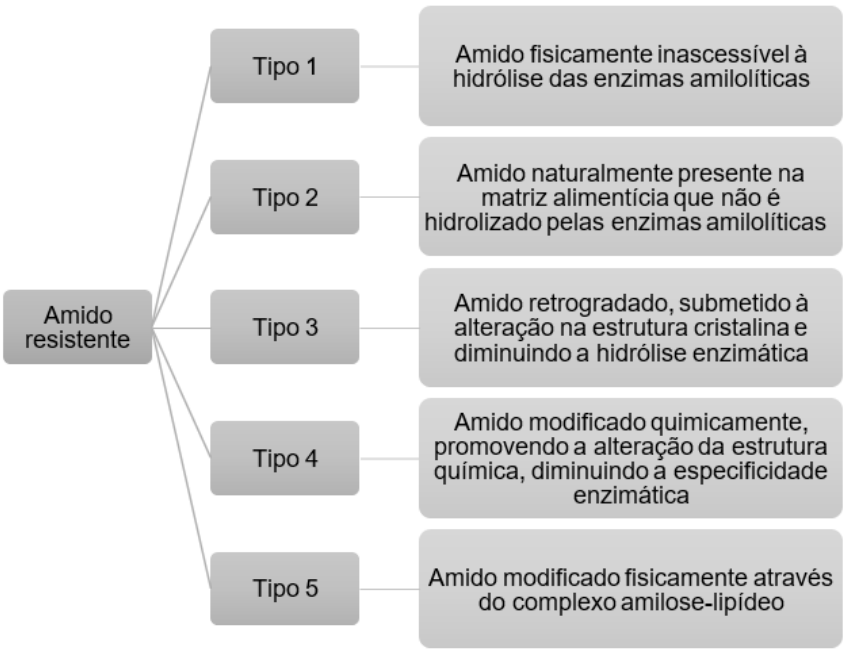


Figura 7. Tipos de amidos resistentes e formas de apresentação.

A fração do amido que é rapidamente digerível corresponde ao amido gelatinizado e de fácil acesso para as enzimas. A fração que é lentamente digerível é aquela que possui a velocidade de digestão diminuída. A fração do amido que é resistente é aquela que não está acessível para as enzimas amilolíticas, seja por uma barreira física ou uma alteração em sua estrutura que faz com que a enzima perca sua especificidade.

Glúten – propriedades físico-químicas e reológicas, métodos de avaliação, glúten vital e desvitalizado

O glúten é o complexo proteico insolúvel formado quando se realiza trabalho mecânico, mediante hidratação das proteínas do trigo (Cauvain & Young, 2009). Em síntese, quando a farinha é misturada com a água, ocorre um rearranjo dos agregados proteicos com os grupos reativos mais expostos, que se ligam formando uma rede com propriedades viscoelásticas. As gliadinas, que possuem baixo peso molecular e tendem a formar ligações dissulfídricas intramoleculares, são proteínas que proporcionam extensibilidade à massa. As gluteninas, que possuem alto peso molecular e tendem a formar ligações dissulfídricas intermoleculares e intramoleculares, são responsáveis pelas propriedades de elasticidade (Demirkesen, Mert, Sumnu & Sahin, 2010; Schmiele, Araújo, Gurgueira & Chang, 2015; Ortolan & Steel, 2017).

Métodos de avaliação e caracterização de farinhas

Os diferentes tipos de produtos derivados de trigo requerem características tecnológicas específicas das farinhas para a produção e processamento. A qualidade da farinha de trigo pode ser medida pela capacidade e habilidade em oferecer a obtenção de um produto final que atraia o consumidor e que seja de um custo viável. De forma geral, o teor proteico está associado à qualidade devido às propriedades reológicas das massas. Os principais padrões de qualidade correspondem aos teores de umidade e cinzas, cor, força do glúten e número de queda, podendo variar conforme as propriedades do grão de trigo moído (Zardo, 2010).

A avaliação do teor de umidade pode ser feita pelo método tradicional por desidratação em estufa (*American Association of Cereal Chemists International* [AACCI] 2010) ou utilizando-se balança de infravermelho. A análise do teor de cinzas é feita por incineração da matéria orgânica (AACCI, 2010) e é um indicativo do grau de extração da farinha, uma vez que, a fração externa do grão de trigo (farelo) contém maior conteúdo de minerais. A cor instrumental pode ser medida diretamente em colorímetro e varia com o grau de extração da farinha e tipo de grão.

As propriedades reológicas das farinhas são importantes para determinar a qualidade da matéria-prima, em termos de conteúdo proteico, e garantir a destinação correta para cada tipo de produto. Dentre os métodos utilizados, o número de queda permite determinar a

atividade diastásica, enquanto a farinografia é utilizada para verificar a hidratação e o desenvolvimento do glúten no processo de mistura da massa. Já os métodos de alveografia e extensografia são utilizados para aferir a força do glúten. Atualmente, o equipamento Mixolab^{TM} apresenta tecnologia mais avançada que permite determinar todas estas variáveis de forma simultânea.

Número de Queda (*Falling Number*)

O método do "*Falling Number*" verifica a atividade indireta da enzima α-amilase em uma suspensão de farinha gelatinizada. Através da determinação do "*Falling Number*" das farinhas pode-se estabelecer as proporções em que se deve misturar duas farinhas ou se há a necessidade de correção com adição direta de enzimas. As mesclas normalmente são utilizadas quando se quer corrigir uma farinha de alta atividade diastásica, visando a diluição do excesso de α-amilase. Já a adição de enzimas, reforçadores e melhoradores são feitas para a correção da deficiência da α-amilase (Nitzke & Thys, 2020).

A importância da verificação da atividade e do efeito da alfa-amilase se dá devido ao fato desta enzima exercer a função de quebrar a molécula de amido (Balhmann & Lanzarini, 2013). Farinhas com alta atividade enzimática pode gerar massas moles e um produto final com miolo escuro e pegajoso, enquanto as farinhas com baixa atividade diastásica geram massas duras e implicará num pão com textura interna seca e quebradiça, o que interfere diretamente na textura e uniformidade do produto (Módenes, Silva & Trigueros, 2009). O valor do número de queda considerado bom para a prática panificável está entre 250 e 350 segundos (Ortolan, Hecktheuer & Miranda, 2010).

Farinografia

O farinógrafo é composto por uma masseira que possui duas facas em "z" que giram em sentido contrário, dentro da qual é colocada a amostra e um dinamômetro que mede a força requerida para a mistura da amostra reproduz um gráfico que mostra as variações ocorridas durante o processo de mistura. A medida é feita através da resistência proporcionada pelo desenvolvimento da rede de glúten ao torque do equipamento. Os parâmetros de qualidade medidos através do farinograma são: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa (TDM), estabilidade (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM) (Nitzke & Thys, 2020).

A Figura 8 apresenta três farinogramas com diferentes comportamentos resultantes do conteúdo e da qualidade da proteína presente na farinha. Em um farinograma de farinha fraca (Figura 8-a), a curva gerada se mantém muito pouco tempo sobre a linha das 500 UF (unidades farinográficas). Ao contrário da curva gerada pela farinha fraca, em um farinograma de farinha forte (Figura 8-c) a curva gerada se mantém por muito tempo sobre a linha das 500 UF. Para uma farinha intermediária (Figura 8-b), a curva possui

comportamento intermediário entre uma farinha forte e uma farinha fraca e por isso se mantém um período médio sobre a linha das 500 UF.

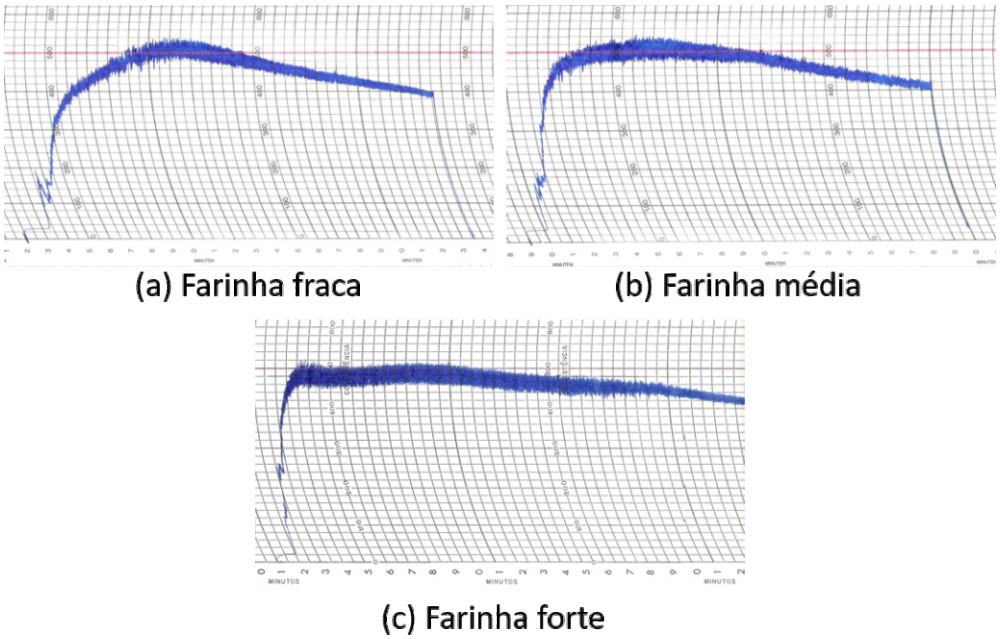


Figura 8. Exemplos de farinogramas de diferentes tipos de farinha.

Alveografia

O alveógrafo registra as curvas de extensão da massa, através da pressão de um volume de ar determinado. Os parâmetros avaliados no alveograma (Figura 9) são: tenacidade (P), extensibilidade (L), configuração e equilíbrio da curva (P/L) e trabalho ou energia de deformação (W).

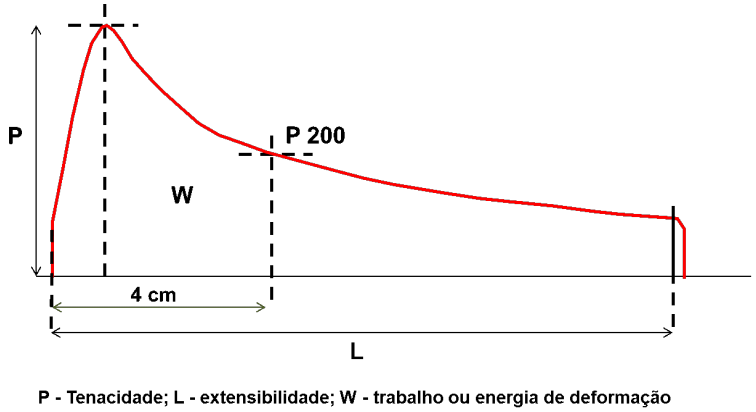


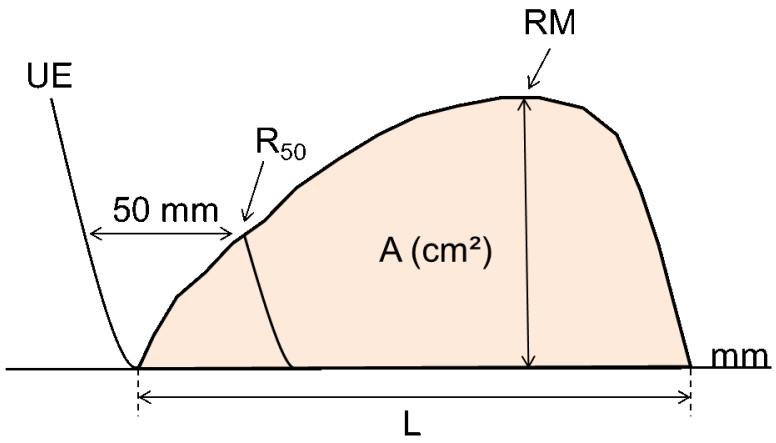
Figura 9. Exemplo de alveograma de farinha de trigo.
Fonte: Os autores, 2022.

A tenacidade (P) ou pressão máxima de ruptura é a média das ordenadas máximas e traduz a resistência que a massa oferece ao ser esticada. Em geral, quanto maior o valor de "L", maior será o volume do pão, mas esta característica é dependente do valor de "P", isto é, deve haver uma proporcionalidade dos valores "P" e "L", denominado valor de configuração e equilíbrio da curva (P/L), que traduz o equilíbrio do alveograma. O valor do "W", que corresponde ao trabalho de deformação ou força da farinha, é obtido com a medida da área da curva e expresso em milhares de ergs (10^{-4} joules) e indica a qualidade panificável da farinha de trigo, simulando o comportamento da massa na fermentação (Módenes, Silva & Trigueros, 2009).

Extensografia

A extensografia tem por finalidade medir características como extensibilidade da massa e a resistência desta à extensão, também chamada de elasticidade ou tenacidade. As massas analisadas no extensógrafo são previamente preparadas no farinógrafo com a consistência de 500 UF e com um tempo de mistura determinado.

A Figura 10 apresenta um exemplo de extensograma com delimitação dos parâmetros mais importantes nesta análise. As principais características avaliadas pela extensografia são: energia (A), sendo que quanto maior a área total da curva gerada, maior é a energia exercida e maior é a força da rede de glúten; resistência à extensão (R_{50}), que em termos práticos é o indicativo da capacidade da massa de reter o gás carbônico (CO_2) formado durante a fermentação, sendo medido a 50 mm do início da curva; resistência máxima (RM), que é o valor em UE (unidades extensográficas), obtido no ponto mais alto da curva; extensibilidade, obtida através da medida do comprimento do extensograma desde o início até o fim da curva, indica o quanto a massa consegue se esticar, sem se romper; número proporcional (R_{50}/E), relação entre a resistência à extensão e a extensibilidade.



UE - Unidades extensográficas; R_{50} - Resistência à extensão;
A - Energia; RM - Resistência máxima; L - Extensibilidade

Figura 10. Exemplo de extensograma de farinha de trigo

Mixolab

O Mixolab é uma inovação em termos de equipamentos analíticos capaz de avaliar o comportamento da massa através de trabalho mecânico e variação da temperatura. O Mixolab tem vários protocolos, o principal, chamado de Standard, mede a variação da viscosidade da massa em cinco diferentes fases, proporcionando leituras de absorção de água, estabilidade, gelatinização do amido, atividade diastásica e retrogradação (Schmiele, Felisberto, Clerici & Chang, 2017). O Mixolab identifica a influência de vários ingredientes adicionados à massa, através de modelos matemáticos consegue-se antecipar com precisão características físicas do produto final (Dubat, 2010).

Glúten vital e desvitalizado

O glúten vital é um concentrado proteico (com cerca de 80% de proteína) na forma de pó de coloração branco-acinzentada. Quando em contato com água, o glúten vital se reidrata rapidamente, readquirindo sua funcionalidade intrínseca. Já o glúten desvitalizado é reconhecido por ter sofrido desnaturação irreversível, portanto apresenta capacidade apenas de absorver água em quantidade relativa ao tamanho e distribuição de suas partículas (Czuchajowska & Pasczñska, 1996) e de aumento do teor de proteína quando utilizado na formulação.

O glúten vital é um aditivo utilizado na indústria de panificação. Seu uso é recomendado para a produção de alguns pães especiais (com adição de fibras, gérmen, uvas passas e outros ingredientes), como panetones em que a etapa de fermentação é longa e o volume é de grande importância, ou mesmo quando se utiliza farinha de trigo com baixa quantidade ou qualidade de glúten (Tedrus, Ormenese, Sperenza, Chang & Bustos, 2001).

O glúten desvitalizado é isolado da farinha de trigo por técnicas naturais de processamento úmido e seguido por processo de secagem rápida de alta temperatura. A proteína é aquecida, perdendo assim a sua vitalidade ou propriedades viscoelásticas. Dessa forma, seu uso objetiva o aumento do teor de proteína numa variedade de aplicações alimentares em que a força e a elasticidade não são necessárias (Bender, 2004, Ortolan & Steel, 2017).

PRODUTOS À BASE DE CEREAIS

Pães

De acordo com a Resolução RDC nº 263, 22 de setembro de 2005, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), pães são produtos obtidos a partir de trigo e outras farinhas, adicionados de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos (Brasil, 2005b). A produção anual do Brasil foi de 537 toneladas de pães em 2019, com um consumo per capita de 2,56 kg/hab/ano (Associação Brasileira de Indústrias de Biscoitos [ABIMAPI], 2020).

Ingredientes

Ingredientes obrigatórios

Os principais ingredientes necessários à produção do pão são farinha de trigo, sal, fermento biológico e água (Cauvain & Young, 2009). A farinha de trigo é o ingrediente principal, sendo o cálculo dos demais ingredientes das formulações baseados na quantidade de farinha adicionada. A farinha é constituída por aproximadamente 65% de amido e 10-12% de proteínas, além de minerais, fibras alimentares e lipídeos em baixa quantidade. Os ingredientes majoritários da farinha são importantes para o desenvolvimento da massa e estruturação do produto final, através das alterações ocorridas na etapa de forneamento. A qualidade da farinha é medida pelo teor proteico, uma vez que, a presença das proteínas formadoras da rede de glúten, gliadina e glutenina, são fundamentais para a obtenção de massas com elasticidade e extensibilidade adequadas, resultando em pães com bom volume e maciez (Edwards, 2007).

O sal é um ingrediente que auxilia a formação da rede de glúten pela melhora da rede fibrilar devido às atrações eletrostáticas, além disso é importante para o sabor e conservação e contribui para o retardo do desenvolvimento de micro-organismos secundários responsáveis por produção de ácidos que reduzem a produção de CO_2 durante a fermentação (Cauvain & Young, 2009).

O fermento biológico atua no processo de fermentação alcoólica, onde são formados os principais compostos de sabor e aroma. A levedura Saccharomyces cerevisiae é o micro-organismo mais comumente utilizado neste processo, que consiste basicamente no consumo de açúcares fornecidos pelas enzimas, produzindo etanol e gás carbônico (Rodriguez, Dugan & McGaughey, 2020b). O fermento pode ser comercializado na forma de solução concentrada (creme), mais utilizada industrialmente pela facilidade de bombeamento e dosagem. E ainda na forma fresca (65-70% de umidade), seca (7-9% de umidade) ou liofilizada (4 a 6% de umidade), onde as diferenças principais são na forma de uso e vida útil (que aumenta conforme se reduz o conteúdo de umidade).

A água é utilizada como um meio para transferência de metabólitos, sendo responsável por promover a hidratação da farinha, resultando em uma massa com a umidade necessária para processos fermentativos e enzimáticos. Além disso, auxilia na formação da rede de glúten através de ligações cruzadas com os cátions (Ca^{+2} e Mg^{+2}), proporciona a gelatinização do amido no forneamento e favorece elasticidade, consistência e maciez do pão (Rodriguez, Dugan & McGaughey, 2020b; Cauvain & Young, 2014).

Ingredientes opcionais

Os pães podem ser adicionados de gordura, açúcar, leite, ovos, fibras alimentares, mel e outros carboidratos de sabor doce, sementes e farinhas de cereais, leguminosas, raízes e tubérculos, frutas secas ou cristalizadas, produtos cárneos, recheio, chocolates,

coberturas, condimentos, dentre outros ingredientes que não descaracterizem o produto. Alguns destes têm por objetivo apenas alterações sensoriais, entretanto algumas características nutricionais e tecnológicas importantes podem ser obtidas com o uso de gordura, açúcares, leite, ovos, fibras e glúten vital, por exemplo.

A gordura pode ser de origem animal ou vegetal, na forma semissólida ou plástica, geralmente variando entre 1-5% na formulação (em base farinha). Este ingrediente opcional confere sabor e aroma, consistência e plasticidade à massa, aumenta o volume do pão, melhora a estabilidade durante a estocagem, aumenta a extensibilidade da massa e retarda o envelhecimento (Edwards, 2007).

O açúcar serve como substrato para a levedura durante a fermentação, ajuda na formação de compostos responsáveis pela cor da crosta através da Reação de *Maillard*, auxilia no maior volume, maciez e conservação do pão. Além disso, tecnologicamente, é capaz de desintensificar o desenvolvimento do glúten, diminuir a velocidade de hidratação das proteínas da farinha, a consistência e a tenacidade da massa e retardar a gelatinização do amido. Estas características podem ser avaliadas de acordo com o tipo de processo para determinar o balanço de formulação e os atributos importantes para cada produto de panificação (Rodriguez, Dugan & McGaughey, 2020b).

Leite e ovos auxiliam na coloração da crosta, formação de sabor e aroma, melhoram propriedades de textura e aeração e promovem o aumento do valor nutricional do produto.

A adição de farelos, fibras brancas e fibras solúveis promove aumento na absorção de água da massa e, do ponto de vista nutricional, são importantes para o enriquecimento da formulação. Entretanto, podem dificultar a fermentação e provocar interrupções da rede de glúten, o que acaba gerando a necessidade de aditivação para obter pães com bom volume e maciez (Neves, Gomes, Carmo, Silva, Amaral & Schmiele, 2020).

O glúten vital fortifica a massa através do aumento do teor de proteínas. Pode ser utilizado em conjunto com matérias-primas que enfraquecem a rede de glúten, melhorando a retenção de gás da massa. É importante observar a necessidade do aumento do tempo de mistura para completo desenvolvimento da massa.

Aditivos e coadjuvantes

O uso de aditivos em panificação ajuda na melhoria e manutenção da qualidade de processamento e dos produtos durante sua vida de prateleira. Os aditivos mais comumente utilizados em pães são os emulsificantes, conservantes, enzimas, oxidantes e redutores.

Os emulsificantes podem ser divididos em duas classes: reforçadores da rede de glúten e amaciadores de miolo. Os ésteres de ácido diacetil tartárico (DATEM) intensificam a retenção de gás na massa. A rede de glúten resultante é mais forte e mais extensível,

apresentando uma característica mais resiliente. A lecitina de soja também é usada com o objetivo de intensificar a retenção de gás na massa, porém com eficiência inferior ao DATEM. É muito utilizada em baguetes e pães crostosos, onde se deseja obter casca mais espessa e densa.

O estearoil-2-lactil lactato de sódio (SSL) age principalmente na elevação da vida de prateleira da maciez. Este tipo de emulsificante é utilizado preferencialmente em formulações mais calóricas, resultando em produtos com volume adequado e miolo branco, razoavelmente denso, proporcionando sensação macia e úmida na boca. Já o monoglicerídeo destilado é utilizado como amaciador de miolo, desacelerando a retrogradação do amido durante o resfriamento e armazenamento. Por prolongar a maciez, este emulsificante pode ser utilizado como substituto parcial de gordura nas formulações (Cauvain & Young, 2009).

Os conservantes químicos mais utilizados são propionato de cálcio e sorbato de potássio. Tais substâncias atuam principalmente na inibição do desenvolvimento de bolores, que são as principais causas de deterioração neste tipo de produto. Em geral, propionato é adicionado diretamente à massa no processo de fabricação dos pães sem prejuízo tecnológico ou sensorial, enquanto sorbato de potássio é aplicado por meio de aspersão na superfície dos pães após o forneamento.

Os diferentes agentes oxidantes reagem de maneira similar, essencialmente pela oxidação dos grupos tiol (-SH) dos resíduos de cisteína das proteínas do glúten em ligações dissulfeto (-S-S-). As ligações formadas afetam a reologia da massa, aumentando a elasticidade e diminuindo a extensibilidade, conferindo maior volume e melhorando a textura do pão (Pereira, Amorim, Ambiel & Chang, 2009). No Brasil, o ácido ascórbico é o oxidante mais utilizado, já o bromato de potássio foi proibido tendo em vista o risco toxicológico evidenciado em alguns estudos (Brasil, 2001).

As enzimas podem ser utilizadas para redução das cadeias de amido danificado produzindo açúcares fermentescíveis. A α-amilase é uma enzima endógena que quebra as ligações α-1,4 liberando dextrinas e age em conjunto com β-amilase, gerando maltoses. A farinha de trigo não possui quantidade suficiente de α-amilase, sendo assim a fermentação pode ser facilitada adicionando esta enzima. As hemicelulases são adicionadas com objetivo de modificar as pentosanas do trigo, resultando em massas de manuseio mais fácil, mais extensíveis, sem perda de resistência ou aumento de espessamento. As proteases, por sua vez, enfraquecem crescente e irreversivelmente a estrutura da rede de glúten, sendo assim aplicam-se para massas com glúten excessivamente forte (Cauvain & Young, 2009).

Etapas de produção

Mistura e amassamento

Os ingredientes devem ser misturados de forma a obter a homogeneização e dispersão uniforme dos constituintes da formulação. O amassamento fornece o estímulo da hidratação dos ingredientes sólidos, a energia para o desenvolvimento da estrutura da rede de glúten e a incorporação de bolhas de ar (Cauvain & Young, 2009).

Distinguem-se 5 etapas do processo de mistura e amassamento, sendo:

1) Estágio inicial: Incorporação e homogeneização dos ingredientes da massa
2) *Pick-up*: Hidratação superficial das partículas do endosperma, massa úmida, grosseira a heterogênea
3 *Clean-up*: Hidratação completa das partículas do endosperma
4) *Clearing*: Desenvolvimento da massa com aparência lisa, brilho acetinado e ótimas características de elasticidade
5) *Let-down*: Massa mole e altamente extensível.

Os equipamentos utilizados neste processo variam de acordo com o método de panificação utilizado e a escala de produção desejada. Com os misturadores de baixa velocidade, há baixa energia fornecida à massa e inclusão de ar. Os processos ocorrem com alto tempo de fermentação e desenvolvimento fraco da rede de glúten. Como exemplo tem-se os misturadores de eixo duplo (*twin-arm mixer*) e eixo duplo oblíquo (*oblique-axis fork mixer*). Misturadores de alta velocidade geralmente possuem dois ciclos, lento para mistura de ingredientes e rápido para o amassamento. Possuem recipiente de mistura estático com capacidade de 50 a 300kg de massa. São equipamentos que fornecem alta energia mecânica para o desenvolvimento da rede de glúten e aumento considerável na temperatura da massa (Cauvain & Young, 2009).

Misturadores do tipo *Tweedy* são comuns ao método CBP (*Chorleywood Bread Process*), fornecem alta velocidade e energia mecânica podendo processar de 2 a 10 toneladas de massa por hora. Utiliza camisa de refrigeração devido ao aquecimento da massa e ainda se adiciona gelo em escamas para o controle de temperatura. A utilização de oxidantes é obrigatória para garantir a formação das ligações dissulfeto e o desenvolvimento da rede de glúten de 2 a 5 minutos (Rodriguez, Dugan & McGaughey, 2020a).

Misturadores em espiral provocam menor aquecimento da massa, menor desenvolvimento da rede de glúten, melhor uniformidade e inclusão de ar na massa quando comparado ao CBP e misturadores de alta velocidade. Já os misturadores contínuos possuem sistema de transporte e pesagem de ingredientes, sistema de amassamento refrigerado e uso de gás enriquecido para promover células de ar uniformes (Cauvain & Young, 2009).

Divisão e boleamento

O porcionamento da massa pode ser feito em diferentes tipos de equipamentos. O divisor de sucção a óleo em dois estágios é o mais comum e possui capacidade de 1800-3000 massas/h. O divisor de múltiplas bolsas processa de 9000-15000 massas/h. Já o divisor por extrusão é indicado para massas fortes, como por exemplo, as produzidas pelo método esponja massa. O divisor de estágio simples à vapor possui um pistão injetor de massa e é utilizado para massas pouco viscosas.

O boleamento é uma etapa realizada com a finalidade de promover uniformidade da massa, facilitar laminação, modelagem e retenção de gás, além de reduzir a pegajosidade. As boleadoras industriais variam quanto ao tipo e formato, podem ser cônicas, cilíndricas, contínuas ou recíprocas (Cauvain & Young, 2009).

Fermentação intermediária (Descanso)

A fermentação intermediária provoca redução das tensões produzidas pelo trabalho mecânico, estabilização da energia sobre a rede de glúten e melhora as condições da massa para a modelagem. Durante esta etapa de descanso é gerado um reforço adicional à massa através do movimento interno gerado pelo início da fermentação. Ocorre a produção de CO_2 pelas leveduras, atuação de agentes redutores ou enzimas proteolíticas e amilolíticas. O tempo de fermentação está diretamente associado à abertura dos alvéolos (Rodriguez, Dugan & McGaughey, 2020a).

Modelagem

A modelagem promove a desgaseificação parcial e formação da estrutura conforme se deseja no produto final. Basicamente, a massa previamente boleada e fermentada parcialmente é achatada, enrolada e selada, podendo ser enformada e conduzida para a fermentação final.

Fermentação principal

A fermentação principal deve ocorrer sob umidade e temperatura controladas. O amido presente na farinha é transformado em açúcares mais simples pela ação enzimática. As leveduras utilizam estes açúcares como substrato para produzir dióxido de carbono (CO_2), etanol, ácidos orgânicos e outros produtos secundários. À medida que a concentração de CO_2 aumenta, este é retido nas células formadas na matriz proteica durante o processo de mistura, fazendo as células crescerem e a massa expandir (Cauvain & Young, 2009).

Forneamento

O forneamento provoca mudanças físicas, químicas e bioquímicas irreversíveis que dão as características do produto final. Ocorre a gelatinização do amido, desnaturação de

proteínas e enzimas, fixação da estrutura, formação da crosta e desenvolvimento de cor e sabor. Utilizam-se temperaturas de 180 a 200°C. No início do assamento ocorre o que se conhece por *Oven rise* (salto de forno), onde há alta atividade de levedura e expansão de gases. A Reação de *Maillard* promove o escurecimento da crosta, além da formação de compostos de sabor e aroma.

Métodos de panificação

Os métodos de panificação diferenciam-se principalmente pelo tipo de equipamento utilizado e pela sequência das etapas de processamento, o que resulta em produtos com características tecnológicas e sensoriais distintas. Neste capítulo serão descritos os principais métodos de panificação conhecidos atualmente, são eles: método de massa direta, massa direta modificado, esponja massa, *Chorleywood* e contínuo.

Massa direta

Caracterizado pela fermentação principal ocorrer após a mistura/amassamento e antes da divisão. Todos os ingredientes são adicionados simultaneamente e misturados até que a massa apresente a viscoelasticidade ideal. Em geral, a mistura é executada em amassadeira de baixa velocidade, sendo a quantidade de energia transferida inferior a outros processos de panificação. Após a fermentação, pode ou não haver reamassamento (sova) (Cauvain & Young, 2009).

Massa direta modificado

Este método geralmente é realizado com a utilização de amassadeiras em espiral. Após mistura e amassamento de todos os ingredientes, as massas são divididas e boleadas, passam por um curto período de descanso (aproximadamente 10 minutos), são então modeladas e fermentadas até atingir a resiliência ideal para serem forneadas.

Esponja massa

Método caracterizado pela existência de duas etapas distintas: preparo da esponja e formação da massa. Na primeira etapa é feita a combinação dos ingredientes (farinha, água e fermento) para obtenção de uma massa uniforme sem o total desenvolvimento da rede de glúten, onde o fermento metaboliza açúcares presentes na farinha. O volume da esponja aumenta 4-5 vezes, gerando uma massa esponjosa em forma de teia. Após a fermentação da esponja, é feita a adição dos demais ingredientes da formulação, com posterior mistura e amassamento. As massas são divididas e boleadas, modeladas e fermentadas novamente, até atingir a resiliência ideal para o assamento do produto final (Edward, 2007).

Chorleywood

Diferencia-se sobretudo pelo equipamento utilizado na etapa de mistura e amassamento. Deve haver um controle de pressão, sendo maior no início para incorporação de ar. É necessária a adição de volume extra de fermento (50 %), oxidantes e rígido controle de temperatura da massa, devido à maior velocidade e energia mecânica requeridos no processamento (Cauvain & Young, 2006). Após o amassamento, as etapas de produção são semelhantes às descritas para o método de massa direta modificado.

Contínuo

Processo automatizado onde ocorre a formação de uma esponja líquida, seguida da mistura e desenvolvimento da massa, fermentação e forneamento. São conhecidas as variações denominadas por *Do maker* e *Amflow*, que possuem operação básica similar, mas diferenciam-se pelo desenho dos equipamentos. Em geral, após a formação do fermento líquido é realizada uma pré-mistura com os demais ingredientes. A massa passa pelo desenvolvedor, é porcionada por extrusão, sendo direcionada para os túneis de fermentação e assamento. Em seguida, passa pela esteira de resfriamento e segue para o setor de fatiamento e embalagem. De maneira geral, as etapas dos métodos de panificação estudados podem ser sintetizadas conforme o esquema apresentado na Figura 11.

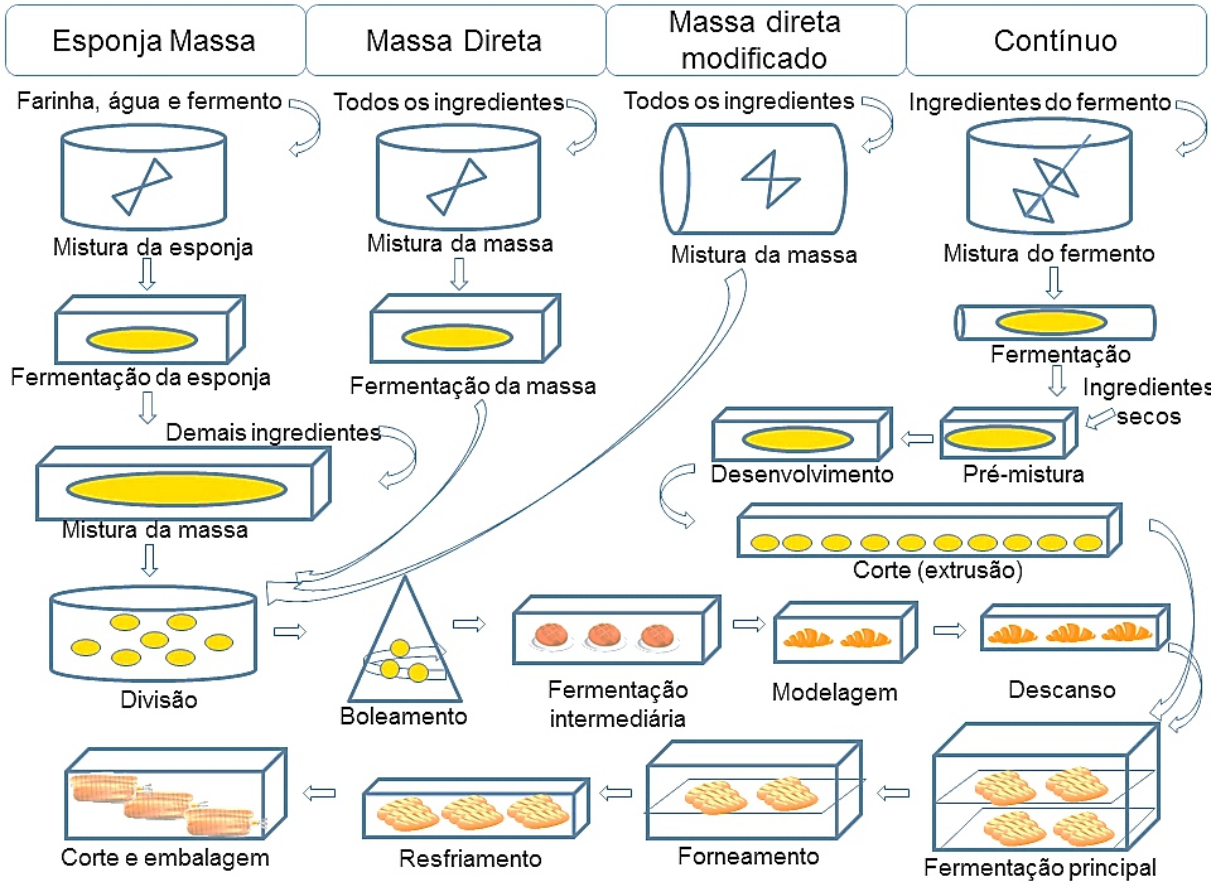


Figura 11. Resumo dos métodos usuais de panificação.



Os métodos de panificação utilizados industrialmente devem ser selecionados de acordo com o tipo de produto, características tecnológicas e sensoriais desejadas, capital de investimento disponível, necessidade de mão de obra, custo de produção, consumo energético, flexibilidade da linha produtiva, dentre outros fatores. A Tabela 4 apresenta as principais vantagens e desvantagens de cada um dos métodos avaliados neste capítulo.

Tabela 4. Vantagens e desvantagens dos métodos de panificação

Método	Vantagens	Desvantagens
Massa direta	Rápido Baixo consumo de energia e necessidade de mão de obra	Falta de flexibilidade
Massa direta modificado	Rápido Flexível Pouco espaço ocupado	Menor desenvolvimento de aroma e sabor Diminuição da vida de prateleira
Esponja Massa	Desenvolvimento de sabor e aroma Volume, textura e estrutura do miolo Flexibilidade do processo Economia de fermento	Demorado Maior custo de produção Maior gasto energético Maior perda de massa
Chorleywood	Rápido Pouco espaço ocupado Maior higiene (qualidade) Maior rendimento	Exige rapidez pelo aumento de temperatura Menor desenvolvimento de sabor e aroma Alto custo de equipamentos Alto consumo de energia Maior consumo de fermento e aditivos
Contínuo	Menores custos e alta capacidade de produção Alto grau desanitização Maior controle de processo Menor número de equipamentos, trabalho e espaço	Alto custo de instalação Falta de estrutura do miolo Flexibilidade (pão de forma) Baixo desenvolvimento de sabor e aroma Textura frágil



Massas alimentícias

A produção anual de massas alimentícias foi de 1,28 milhões de toneladas em 2019 (ABIMAPI, 2020). Deste total, 75% correspondem a produção de massas secas, 13% de macarrão instantâneo e 12 % de massas refrigeradas e pizzas.

Massas secas e frescas

Massas alimentícias são os produtos obtidos da farinha de trigo (*Triticum aestivum L.* e ou de outras espécies do gênero *Triticum*) e ou derivados de trigo *durum* (*Triticum durum L.*) e ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação. As massas alimentícias podem ser adicionadas de outros ingredientes, acompanhadas de complementos isolados ou misturados à massa, desde que não descaracterizem o produto. Os produtos podem ser apresentados secos, frescos, pré-cozidos, instantâneos ou prontos para o consumo, em diferentes formatos e recheios (Brasil, 2005b).

Classificação

- Segundo o teor de umidade:

  a) Massa fresca - quando foi submetida a processo incipiente, com ou sem secagem; este produto, devido ao seu alto teor de umidade próximo a 30 %, requer cuidados especiais para a preservação. Pelo fato de não sofrer uma intensa desidratação, mantém suas características de textura e sabor semelhantes aos da massa caseira.

  b) Massa seca - quando foi submetida a processo de secagem.

- Segundo o formato:

  a) Massa comprida ou longa - massa tipo espaguete, talharim e outras.

  b) Massa curta - massa tipo ave-maria, concha e outras.

  c) Massinha - massa tipo chumbinho, alfabeto, alpiste, estrelinha e outras.

- Segundo a composição:

  a) Macarrão – quando obtida a partir de farinha de trigo (*T. durum* ou *T. aestivum*)

  b) Massa mista - preparada pela mistura de farinha de trigo com outras farinhas.

  c) Massa recheada - contendo recheio preparado com diferentes substâncias alimentícias aprovadas.

  d) Massa glutinada e super ou hiperglutinada - preparada com farinha de trigo adicionada de glúten.

Ingredientes

As massas alimentícias são constituídas basicamente pela mistura de farinha ou semolina de trigo e água. Entretanto, podem ainda ser adicionadas de ovos, emulsificantes, corantes, conservantes, fibras, vitaminas e outros ingredientes (Kill & Turnbull, 2008).

A farinha de trigo é o ingrediente majoritário, sendo a formulação baseada na quantidade de farinha adicionada. A adição de ovos às massas alimentícias confere a tonalidade amarelada à cor e melhora a elasticidade, principalmente em massas longas (Hummel, 1966).

Os emulsificantes são importantes aditivos utilizados no preparo de massas alimentícias, atuando na redução da perda de sólidos na água de cozimento e na melhoria da textura (adesividade e firmeza). Além disso, aumentam a uniformidade, a espessura, o brilho e a dureza das massas. A utilização de emulsificantes também proporciona melhor controle do processo, devido à propriedade de lubrificação dos produtos amiláceos extrusados, facilitando a passagem da massa através da matriz. Os principais emulsificantes utilizados na indústria de alimentos são os monoglicerídeos e os ésteres de ácidos lácticos, os quais são selecionados de acordo com as suas propriedades (Vernaza et al., 2012).

O uso de corantes naturais ou idênticos aos naturais é permitido em massas alimentícias sem ovos, na quantidade necessária para se obter o efeito desejado. O β-caroteno é um produto bastante caro e deve ser usado quando o objetivo primordial for o aumento do valor nutritivo da massa, pois apresenta atividade pró-vitamínica (pró-vitamina A). Quando a finalidade for apenas a obtenção de cor, podem-se utilizar outros corantes naturais como urucum, vegetais desidratados em pó (espinafre, tomate, beterraba ou cenoura) ou extratos desses vegetais obtidos após o cozimento e trituração.

Conservantes são utilizados para proteger as massas frescas da ação de fungos durante a comercialização. A legislação em vigor permite o uso dos ácidos sórbico e propiônico, bem como seus sais (sorbato de potássio e propionato de cálcio), como agentes conservadores em massas frescas.

Processamento

Em geral, a produção de massas alimentícias segue o diagrama de fluxo apresentado na Figura 12. Os ingredientes da massa devem ser dosados e homogeneizados para que a farinha de trigo seja hidratada até atingir textura esfarelenta. A mistura dos ingredientes pode ser feita de forma tradicional ou à vácuo, onde é possível reduzir a ocorrência de pontos brancos e pela ausência de ar, evitar a descoloração da massa. Quanto mais rápida a mistura, menor o risco de oxidação dos pigmentos da farinha. A quantidade de água varia de 28 a 35 % e dependerá de fatores como variedade da farinha e qualidade do glúten, teor de proteína e umidade inicial dos ingredientes secos. A umidade final da massa deve ser de aproximadamente 31 % (Hummel, 1966).

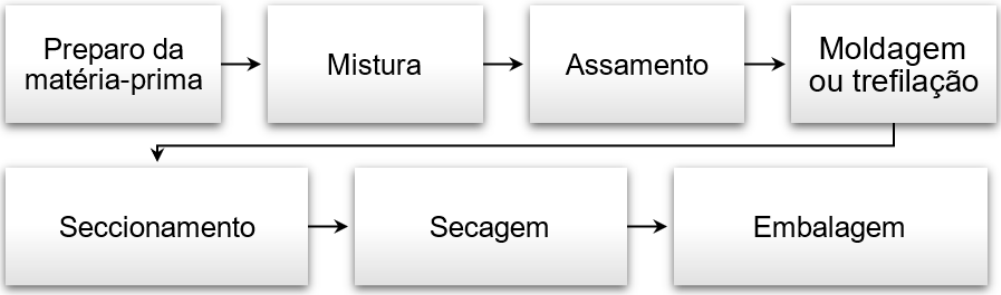


Figura 12. Diagrama de fluxo de produção de massas alimentícias.

O amido absorve parte da água e com o trabalho mecânico gerado no amassamento ocorre o desenvolvimento da rede de glúten. Desta forma, forma-se um sistema coloidal (lipídeos, açúcares, amido, proteínas, água e minerais), responsável pelas características viscoelásticas da massa. É importante manter temperaturas em torno de 30 °C para minimizar a atividade diastásica (α-amilase).

A modelagem da massa é feita por extrusão, processo que consiste na passagem de um material por compressão através de uma matriz adquirindo assim a forma desejada. No caso de massas alimentícias, utiliza-se extrusão convencional, com uma pressão média, baixa temperatura e baixa força de cisalhamento.

O equipamento com uma rosca sem fim conduz a massa até a matriz, ocorrendo aumento da pressão pela ação da rosca e pelo obstáculo oferecido pelo molde. Para evitar o aquecimento da massa a temperaturas superiores à 50 °C, a extrusora deve possuir camisa de resfriamento. O sistema de refrigeração pode ser com ar comprimido ou com água, sendo que a troca de calor com a água é mais eficiente em função do maior calor específico.

As trefilas ou moldes podem ser fabricadas de diferentes tipos de material. Trefilas de bronze apresentam boa resistência à corrosão, são leves e de fácil manuseio. Já as de aço inox são mais resistentes e pesadas, caras e de difícil manuseio. Enquanto as de teflon apresentam baixo coeficiente de fricção, alta produção e fornece uma superfície mais lisa ao produto.

Ao passar pela matriz da extrusora, as massas devem ser seccionadas. A primeira etapa é a ventilação, onde ocorre uma secagem superficial que impede a aderência da massa extrusada. As massas são então cortadas através de um seccionador especial e são dispostas em bandejas (massas curtas) ou barras (massas longas).

A secagem é a etapa crítica do processamento e tem como objetivo reduzir o teor de umidade de 31-33 % para 12-13 %. Os princípios desta etapa são as propriedades de evaporação da água e do ar absorver água na forma de vapor. É importante controlar a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar. Uma secagem muito lenta pode causar problemas microbiológicos e bioquímicos, enquanto uma secagem muito rápida pode causar fissuras e trincamento no produto (Kill & Turnbull, 2008).

A pré-secagem é realizada para estabilizar a rede de glúten tornando a estrutura mais rígida. Além disso, inibe o escurecimento enzimático, reduz a pegajosidade e o tempo de secagem total. A secagem final é realizada à temperatura constante de 54 °C e é dividida em três estágios:

i. 1 hora e 30 minutos a 95 % UR (sem circulação de ar);

ii. 4 horas a 83 % UR (produto a 18 % de umidade);

iii. 8 horas a 70 % UR (produto atinge 12-13 % de umidade).

Após a secagem do produto, deve-se proceder a embalagem e armazenamento, até que se realize o transporte para os locais de comercialização.

Atualmente, o uso de secadores com maiores temperaturas é utilizado para diminuir o tempo de secagem. Além disso, algumas enzimas que atuam na oxidação de pigmentos e na hidrólise de lipídeos, proteínas e amido são inativadas. Desta forma, a qualidade final das massas alimentícias é superior, resultando em melhores propriedades de cozimento e textura. Com esta técnica, a alta qualidade das proteínas e a força da rede de glúten tornou-se menos importante.

Do ponto de vista do consumidor final, o comportamento das massas alimentícias, durante e após o cozimento, é o parâmetro de qualidade de maior importância. Além do sabor e do odor, estão incluídos nestes parâmetros o tempo de cozimento, a quantidade de água absorvida, as propriedades de textura da massa (firmeza, mastigabilidade e elasticidade) e as características de superfície (pegajosidade, desintegração e perda de sólidos). Portanto, deve haver um controle integrado do setor produtivo, visando desenvolver formulações e processos que atendam estas necessidades.

Macarrão instantâneo

O macarrão instantâneo, também conhecido como *noodle* instantâneo, é um tipo de massa alimentícia amplamente difundida em países orientais. As variedades de *noodles* são mais difundidas nos países orientais e possuem alto valor cultural para esses países. A maioria dos *noodles* é feita com farinha de trigo, mas existem variedades populares que utilizam a farinha de arroz. O macarrão instantâneo surgiu como uma estratégia da indústria derivada de uma técnica chinesa antiga de cozinhar o macarrão e depois fritá-lo em óleo quente para servi-lo depois em sopas (Zhang & Ma, 2016).

A conveniência do macarrão instantâneo justifica sua popularidade, pois é possível obter uma refeição rápida e de fácil preparo. Os ingredientes presentes na formulação são farinha de trigo, água e sal.

Ingredientes: farinha de trigo, água e sal

Diferente das outras massas alimentícias, os *noodles* são fabricados com farinha de trigo (*Triticum aestivum*) de força branda a média, e adicionada de sal. O macarrão instantâneo foi criado em 1958 pelo japonês Momofuku Ando, revolucionando os hábitos alimentares por se tratar de um alimento de preparo rápido (Zhang & Ma, 2016).

O conteúdo de proteína da farinha de trigo usada na formulação de macarrão instantâneo pode variar entre 11 e 13 %. A quantidade de proteína da farinha pode influenciar na absorção de óleo durante o processo de fritura. Os macarrões instantâneos produzidos com farinha de trigo com baixo teor de proteína tendem a absorver uma maior quantidade de óleo (Hou, 2001).

A água tem a função de dissolver os ingredientes solúveis, hidratar os componentes da farinha para que haja o desenvolvimento de rede de glúten e controlar a consistência da massa. A umidade da massa deve ser baixa o suficiente para permitir a desidratação rápida no processo de fritura ou aplicação de ar quente (Hou, 2010).

Na formulação é usado de 1 a 3 % de sal comum (cloreto de sódio) para melhorar as propriedades viscoelásticas da massa e acelerar a absorção de água durante o cozimento. Outros sais alcalinos também são incorporados com a função de fornecer sabor, cor e textura característicos desse produto, devido à alteração das moléculas das flavonas presentes na farinha de trigo em meio alcalino. Os sais alcalinos adicionados correspondem a 0,5 a 1 % do conteúdo de farinha da formulação (Hou, 2001).

Processamento

O processamento de macarrão instantâneo é similar ao de outras massas alimentícias até a etapa de corte. O fluxograma do processo está apresentado na Figura 13.

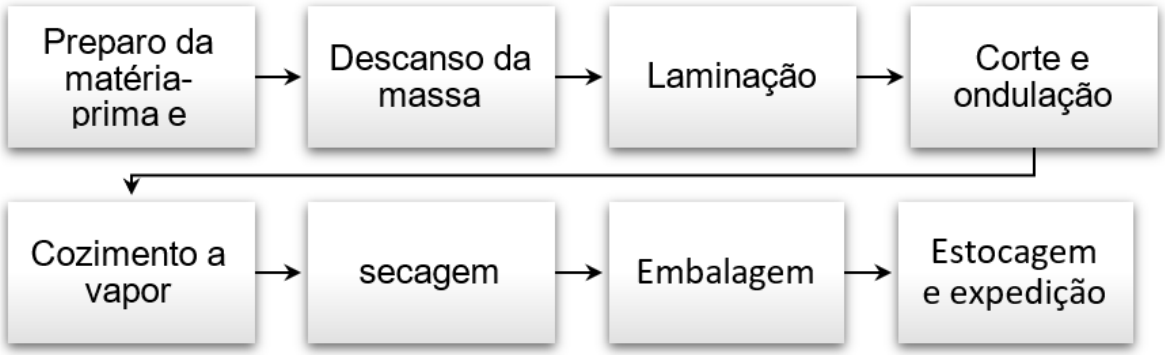


Figura 13. Fluxograma do processo de obtenção de macarrão instantâneo.

Primeiramente, os ingredientes são misturados e homogeneizados. A farinha de trigo, água e sal são dosados e misturados. A massa é preparada com a adição de sal alcalino que confere cor amarelada ao macarrão e estrutura mais firme e elástica. A mistura de ingredientes é encaminhada para a laminação em equipamentos de rolos contínuos. Na etapa de laminação, a rede de glúten é desenvolvida e o macarrão toma a espessura da lâmina. A massa laminada é cortada em faca de rolo e formados os filamentos ondulados. Os filamentos de macarrão fresco são cortados e ondulados, utilizando equipamentos articulados e plataforma vibratória. A massa segue para a máquina de cozimento a vapor saturado pelo tempo de 2 a 3 minutos. Na preparação do macarrão instantâneo, o processo de vaporização é realizado para que os grânulos de amido absorvam água, inchem e gelatinizem e as proteínas sejam desnaturadas. Em seguida, os filamentos de macarrão são dobrados e agrupados em forma de blocos individuais. O excesso de água pode ser removido com jatos de ar quente ou por um processo de fritura, por imersão em óleo. Os blocos de macarrão podem ser desidratados por: fritura, onde é imerso em óleo quente (135 a 150 °C) por 1 a 2 minutos; ou por jatos de ar quente (70 a 80 °C) por um período de 35 a 45 minutos (Kruger, Matsuo & Dick, 1996).

O macarrão que passa pelo processo de fritura possui um conteúdo de gordura (aproximadamente de 15 a 22 %) relativamente maior do que o macarrão que passa pela injeção de ar quente (1 a 3 %). O produto tem vida-de-prateleira de 6 a 12 meses e é servido após o cozimento em água fervente por 3 a 4 minutos. O macarrão instantâneo pode ser comercializado em embalagens individuais em polietileno ou em copos (Hou, 2010).

Bolos

A produção nacional de bolos industrializados foi de 43 toneladas e um consumo por habitante de 200 gramas em 2019 (ABIMAPI, 2020). Nestes dados não estão contemplados os bolos de confeitarias, que apresentam a maior fração do mercado. A definição de bolos pode variar em diferentes partes do mundo, mas estes produtos essencialmente possuem em suas formulações alguns ingredientes em comum: farinha (mais comumente a de trigo), sacarose, ovos e gorduras. As massas de bolos são formadas com a adição de ingredientes líquidos que as tornam menos viscosas que massas de pães, gerando a necessidade de uma fôrma para serem assadas. Os ingredientes são misturados seguindo o processo de obtenção da massa, que pode ser em uma única fase ou dividido em mais fases, para atingir uma baixa gravidade específica (g/cm^3). A massa é forneada e o produto obtido apresenta sabor doce e um alto volume específico (cm^3/g) quando comparado com outros produtos de panificação. Quanto à textura, os bolos não devem possuir baixa firmeza, por isso é desejável que os bolos possuam em seu miolo pequenos núcleos de ar uniformemente distribuídos, sem a presença de buracos ou túneis, formando uma estrutura aerada e leve.

A legislação brasileira não define o produto bolo. Para garantir a qualidade e segurança de bolos prontos para consumo ou de misturas para bolos, existe o

regulamento técnico para misturas para o preparo de alimentos e alimentos prontos para o consumo (RDC 273/2005) da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2005a).

Uma grande variedade de bolos pode ser encontrada e para a classificação pode-se basear nos ingredientes e métodos de obtenção da massa:

• *Shortening-based*: nos bolos classificados como *shortening-based*, a massa é obtida a partir de uma emulsão gordura-líquido onde a gordura é modificada (*shortening*) com a adição de emulsificante e exerce a função de aerar a massa e reter os núcleos de ar formados. Esses núcleos de ar contêm vapor de água e dióxido de carbono e serão responsáveis por expandir durante o assamento da massa e garantir uma boa formação de volume no produto. O emulsificante engloba partículas de proteína e amido, impedindo a hidratação e desenvolvimento de rede de glúten contínua no bolo. A emulsão gordura-líquido também garante a umidade e faz com que o miolo do bolo seja suave e macio.

• *Foam-type*: os bolos com essa classificação são obtidos a partir da aeração proveniente da espuma de ovos. Os ovos possuem capacidade ligante devido ao alto conteúdo de proteína e contribuem para o desenvolvimento de um produto com volume, uma vez que é capaz de formar uma espuma relativamente estável. Ao passar pelo aquecimento as proteínas dos ovos são desnaturadas, e a estrutura do miolo do bolo é definida e estabilizada.

A massa dos bolos compõe uma emulsão de óleo em água com a fase gordurosa dispersa na fase contínua aquosa. O uso de emulsificantes é vantajoso porque é capaz de melhorar a dispersão da fase gordurosa que contém os gases responsáveis pelo desenvolvimento de volume do produto. Assim, os bolos formados têm menor dureza, coesividade, mastigabilidade e ainda resistem ao envelhecimento por mais tempo (Paraskevopoulou, Donsouzi, Nikiforidis, Kiosseoglou, 2015).

As características gerais das massas de bolos incluem um alto teor de açúcar e líquidos, textura leve e macia, a presença de um impulsionador de massa (*leavening agent*), normalmente chamado de fermento químico, e formação de estrutura baseada na gelatinização do amido sem o desenvolvimento de rede de glúten (Souza & Schmiele, 2021). As massas podem ter diferentes ingredientes e produzir tipos variados de bolos, como pão-de-ló, *petit gateau*, bolo inglês (*pound cake*), *angel cake, brownies*, *muffins* e *plum pudding*. Dessa forma, as propriedades desejadas podem variar de acordo com o bolo que se deseja produzir. A superfície pode ser plana, como por exemplo em pão-de-ló e brownies, ou arredondada, por exemplo em bolo inglês e *muffins*. As características gerais desejadas são o desenvolvimento de uma crosta fina, de cor dourada uniforme e com brilho. O miolo deve ser fino e uniforme, constituído de muitas células de ar diminutas uniformemente distribuídas. O bolo também deve ser leve, macio, levemente úmido ao tato e paladar, aceitavelmente doce e de sabor agradável. Além disso, é desejável que a aparência seja atraente. Esta última característica remete muito mais à arte de confeitaria do que à tecnologia de bolos propriamente dita.

As transformações dos ingredientes que compõem a formulação da massa no bolo abordam diversas reações físico-químicas. Os processos envolvem diferentes estágios nos quais os ingredientes são fisicamente e/ou quimicamente transformados. Para entender este processo é necessário compreender a função de cada ingrediente envolvido. Tradicionalmente, os ingredientes principais presentes na formulação são: farinha de trigo, açúcar, ovos e lipídeos.

Farinha de trigo

A farinha de trigo é o ingrediente mais importante no processo de obtenção dos bolos, pois é essencial para estabelecer a estrutura do miolo. O trigo comum brando (*Triticum aestivum*) é o cultivar mais indicado para a fabricação de bolos. A farinha de trigo branda possui conteúdo proteico de 8 a 11%, enquanto a farinha de trigo duro é composta de até 14 % de proteínas. As massas que utilizam as farinhas derivadas desse tipo de trigo apresentam alta extensibilidade e baixa resistência à extensão (Quayson, Atwell, Morris & Marti, 2016).

A função da farinha de trigo na formação da estrutura dos bolos está relacionada com o processo de gelatinização do amido. A temperatura e o tempo gastos para que o amido gelatinize são fatores importantes a serem controlados para que os núcleos de ar formados na massa tenham tempo suficiente para se expandir durante o forneamento. A temperatura do forno faz com que o dióxido de carbono e o vapor de água presentes nos núcleos de ar se expandam e o bolo cresça. Este processo é interrompido quando a estrutura é definida no final do processo de gelatinização do amido. Além disso, não é favorável que a massa de bolo desenvolva uma forte rede de glúten, pois o glúten aumenta a elasticidade da massa e reduz sua capacidade de expandir e reter os gases (Mau, Lee, Chen & Lin, 2017). As partículas de farinha restringem a migração e limitam a coalescência de bolhas de ar e de gordura da massa por obstrução física e devido ao aumento da viscosidade da fase aquosa, permitindo a obtenção de uma emulsão estável. A capacidade de absorção de água das partículas de farinha também influencia a viscosidade da massa (Wilderjans, Luyts, Brijs & Delcour, 2013).

A força da farinha de trigo brando geralmente é ideal para que a massa consiga a formação de pequenos núcleos de ar estáveis com boa capacidade de expansão. O número de núcleos de ar formados está diretamente relacionado à gravidade específica da massa (medida em g/cm^3), quanto maior o número de núcleos formados, menor a gravidade específica e mais adequada é a massa do bolo (Martínez-Cervera, Salvador & Sanz, 2014). A farinha de trigo de força média pode ser utilizada. A utilização de farinhas muito fortes em bolos tende a formar produtos de textura muito firme ou irregular, secos, com a superfície menos plana, causando encolhimento do produto e demanda uma maior quantidade de ovos na massa para diluir o glúten, o que pode encarecer muito a formulação. Amidos (geralmente utiliza-se amido de milho) podem ser adicionados para enfraquecer a farinha. Por outro lado, se a farinha for muito fraca o bolo tende a esfarelar (Cauvain & Young, 2009).

O processo de mistura da massa de bolo contribui para um desenvolvimento mínimo de rede de glúten, pois envolve pH neutro, menor tempo de mistura e alta concentração de açúcar. A transformação da massa fluida na estrutura sólida e porosa do bolo é consequência da absorção de água e inchamento e gelatinização dos grânulos de amido. Na crosta do bolo os grânulos não gelatinizam, apenas no miolo (Wilderjans et al., 2013).

Açúcar

O sabor doce dos bolos é uma das características que os tornam populares entre os consumidores. O principal açúcar utilizado em formulações de bolo é a sacarose. O açúcar é um dos ingredientes básicos na formulação de bolos e auxilia na incorporação de núcleos de ar durante a obtenção da massa, participa na formação da estrutura dos alvéolos, influenciando na temperatura de gelatinização do amido, afetando os parâmetros de viscosidade da massa e as características de textura do bolo. Além disso, o açúcar promove a formação da cor da crosta durante o forneamento e auxilia na retenção de umidade do bolo, prolongando a durabilidade durante o armazenamento do produto. A importância do açúcar na formulação de bolos está relacionada às características estruturais do produto e na aceitação sensorial (Manisha, Soumya & Indrani, 2012).

O conteúdo de açúcar dos bolos pode classificá-los em bolos de alta ou baixa proporção (*high-* e *low-ratio*). Quando o conteúdo de açúcar excede o conteúdo de farinha o bolo é considerado de alta proporção, exemplos desse tipo de bolo são: bolo anjo (*angel food*), pão-de-ló (*sponge cake*), chiffon e bolo em camadas (*layer cake*). A proporção de açúcar pode influenciar parâmetros de volume e a estrutura dos bolos, pois influencia na temperatura de gelatinização do amido e de desnaturação proteica. Um exemplo de bolo de baixa proporção é o bolo inglês, que ainda apresenta alto conteúdo de açúcar, suficiente para exercer as importantes funções na obtenção do produto (Miller, 2016).

A sacarose exerce um papel tecnológico importante nas massas de bolo obtidas pelos métodos de um ou dois estágios. Este carboidrato possui efeito abrasivo sobre as moléculas de gordura, diminuindo os agregados cristalinos de gordura ao tamanho ideal para o processo de formação do creme aerado. Os ovos adicionados à massa dissolvem a sacarose, diminuindo a viscosidade da massa. A sacarose também compete com as proteínas formadoras de glúten pela água e isso resulta na redução ou no impedimento do desenvolvimento de rede de glúten na massa de bolo. Durante o forneamento dos bolos, a sacarose exerce funções importantes, pois pode retardar a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas dos ovos ao aumentar a atividade de água da massa. Quanto mais sacarose na formulação, maior serão as temperaturas de gelatinização do amido e desnaturação proteica, portanto a massa tem mais tempo para crescer antes da estrutura do bolo se estabelecer. Para isto, a temperatura do forno deve ser menor. É favorável que a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas dos ovos aconteçam simultaneamente para que o desenvolvimento de volume do bolo seja ideal (Wilderjans et al., 2013).

A utilização de açúcar invertido pode ser favorável devido à ação umectante. Outros adoçantes podem ser utilizados, como os sintéticos (sacarina, ciclamato, aspartame, acesulfame-K e sucralose), mas é necessário verificar a estabilidade a altas temperaturas, além da intensidade e características de sabor. Adoçantes sintéticos não participam da reação de *Maillard*, não favorecendo no desenvolvimento da cor da crosta, e não fornecem corpo ou ação conservante. Os poliálcoois de açúcares (sorbitol, manitol e lactitol, por exemplo) podem ser utilizados após a verificação da ingestão diária recomendada para evitar problemas gastrointestinais desconfortáveis.

Ovos

Os ovos integrais são ingredientes utilizados na formulação de diferentes tipos de bolos, fornecendo cor, sabor, aeração, emulsificação, estabilização, elasticidade e propriedades na formação da estrutura dos bolos. As proteínas da clara de ovo apresentam funções tecnológicas muito importantes, tanto de aeração da massa quanto para o estabelecimento da estrutura sólida do bolo após o forneamento (Wilderjans et al., 2013).

Durante a fase de mistura, a clara de ovo tem a função de maximizar a capacidade de massa de formar e manter os núcleos de ar responsáveis pelo desenvolvimento de volume dos bolos. Em bolos do tipo esponja e todos aqueles elaborados com formação de espuma de clara, os ovos definem a qualidade do produto destinado ao consumidor. As globulinas auxiliam a incorporação de ar ao reduzir a tensão superficial. As ovomucinas participam na desnaturação mecânica da superfície durante a etapa de batimento formando uma espuma sólida capaz de aumentar de volume. A fração de ovoalbumina coagula durante o aquecimento e auxilia a massa a suportar maiores quantidades de açúcar e farinha (Wilderjans et al., 2013).

Lipídeos

A adição da fração lipídica, óleos ou gorduras, é utilizada para garantir maciez e qualidade sensorial, além de restringir a formação de rede de glúten. Entre os óleos e gorduras utilizados em formulações de bolos estão: óleos vegetais (soja, palma, canola, girassol e coco), gorduras animais (sebo, banha, gorduras marinhas) e os óleos e gorduras vegetais modificados (hidrogenados, fracionados e interesterificados). As gorduras são capazes de auxiliar na incorporação de ar, na estabilização e evitam a coalescência dos núcleos de ar formados na massa, resultando em um produto de miolo mais fino e macio (Bennion & Bamford, 1997).

As gorduras e emulsificantes provocam o atraso da gelatinização do amido, pois aumentam as barreiras para a água ser absorvida pelos grânulos. Complexos entre os lipídeos e a amilose são formados durante o forneamento, aumentando a maciez, retendo a umidade e favorecendo o sabor dos bolos, além de estender a vida-de-prateleira. Em

alguns bolos, como o bolo inglês, a gordura e a sacarose são adicionadas para formar um creme aerado e são as principais responsáveis pela incorporação de ar na massa e pelo desenvolvimento de volume do produto (Wilderjans et al., 2013).

Outros ingredientes e aditivos

Os demais ingredientes variam de acordo com as formulações. Geralmente adiciona-se água para dissolver os açúcares, especialmente quando leite líquido não é adicionado. A presença do leite na formulação acentua a coloração da crosta, devido à presença de lactose e proteínas que participam da reação de *Maillard*. Os emulsificantes permitem uma distribuição mais fina dos núcleos de ar e auxiliam na estabilização desses núcleos na massa. Os emulsificantes mais utilizados são o monoestearato de glicerina e ésteres de poliglicerol. O sal, cloreto de sódio, pode ser adicionado para melhora do sabor, favorecendo a liberação de compostos responsáveis pelo aroma devido à ação eletrolítica promovida sobre a emulsão e auxilia na conservação dos bolos. Em geral, a quantidade de sal não ultrapassa a 1% da formulação, em base farinha. A adição de impulsionador de massa (fermento químico) auxilia no desenvolvimento de volume ao liberar dióxido de carbono proveniente da reação de um ácido alimentício com o bicarbonato de sódio. A aeração química é uma reação ácido-base e os ácidos mais comumente utilizados são ácido tartárico, hidrogênio tartarato de potássio, ácido fosfato de cálcio, glucono-delta-lactona, pirofosfato ácido de sódio e fosfato de alumínio e sódio (Cauvain & Young, 2000).

Alguns conservantes podem ser adicionados para inibir o crescimento de bolores e algumas bactérias. A Tabela 5 apresenta alguns conservantes utilizados e a quantidade recomendada (Brasil, 1999).

Tabela 5. Conservantes utilizados para bolos e limites permitidos

Conservador	Limite (g/100g de farinha)
Ácido propiônico	0,2
Propionato de cálcio	0,1
Propionato de sódio	0,1
Ácido sórbico	0,2
Sorbato de cálcio	0,2
Sorbato de potássio	0,2
Sorbato de sódio	0,2

Balanceamento de formulação

Os ingredientes básicos dos bolos possuem funções específicas, citadas anteriormente. A farinha e os ovos fornecem estrutura para o bolo. Açúcares, gorduras e fermento químico agem abrindo a textura da massa e auxiliando no desenvolvimento do volume. O leite e/ou água fecham a textura da massa e agem reduzindo a leveza do produto. Um

bolo perfeito possui um bom balanceamento entre os ingredientes que abrem a textura e aqueles que a fecham.

Como recomendações gerais: a razão entre a quantidade de ovos e gordura deve ser 1,25:1; a porcentagem correspondente a quantidade de gordura não deve exceder a porcentagem correspondente à quantidade de ovos; a porcentagem correspondente a quantidade de gordura não deve exceder a porcentagem correspondente à quantidade de açúcar; e a porcentagem correspondente à quantidade de açúcar não deve ser maior que a porcentagem correspondente à quantidade de líquidos (Bennion & Bamford, 1997).

Processamento dos bolos

As principais etapas do processamento de bolos estão apresentadas no fluxograma da Figura 14.

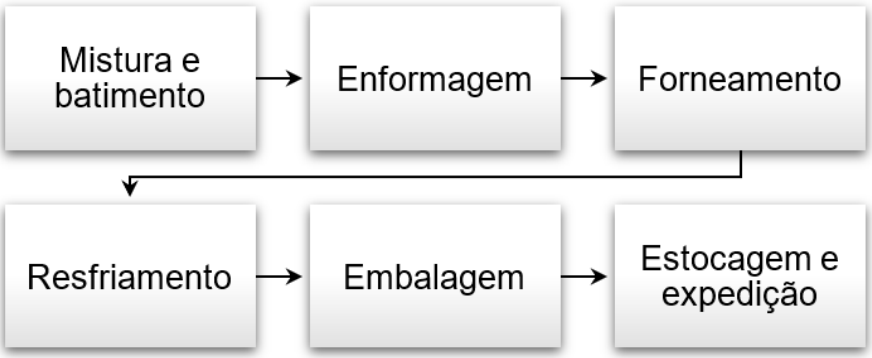


Figura 14. Fluxograma da produção de bolos.

I. Mistura e batimento: o primeiro passo do processamento é a mistura dos ingredientes que compõem a formulação para obtenção da massa, como uma emulsão do tipo óleo em água. O processo de mistura tem o objetivo de obter uma dispersão homogênea e emulsificação dos ingredientes, onde o desenvolvimento de glúten é minimizado o máximo possível. Há nessa etapa a formação e o aprisionamento dos núcleos de ar. Durante o processo há a formação de emulsões, espumas e géis, e a produção de um bolo de qualidade depende da formação e estabilidade de cada um dos estados coloidais durante a mistura dos ingredientes e forneamento da massa. Em alguns tipos de bolos, um creme de gordura e açúcar contendo os núcleos de ar é obtido previamente. Em outros, a espuma de clara e ovos é quem tem a função de aerar a massa. Além de garantir a formação dos núcleos de ar nessa etapa, é necessário o controle da viscosidade e da temperatura da massa, para que a mesma seja capaz de reter os núcleos de ar durante o forneamento. Em geral, a viscosidade da massa é controlada através da adição de líquidos e a temperatura final não deve exceder a 21 °C. O processo de mistura pode envolver diferentes acessórios, os batedores de massa podem ser do tipo raquete ou do tipo arame.

II. Enformagem: os diferentes tipos de bolos possuem diferentes formatos. A forma escolhida define o formato que o bolo possuirá. É necessário untar a forma para facilitar a retirada do bolo ao final do forneamento.

III. Forneamento: é importante o controle de tempo e temperatura. A temperatura mais alta possível é preferencial, de acordo com os ingredientes utilizados, o tamanho e a forma do produto. Temperaturas altas demais podem gerar problemas como crosta muito escura, volume baixo, superfície irregular, miolo fechado ou irregular e falhas de cozimento. Temperaturas muito baixas podem deixar a crosta do bolo muito clara, volume alto e muitas vezes miolo frágil e seco. A presença de vapor no forno auxilia na obtenção de uma crosta macia e fina.

IV. Resfriamento: é necessário aguardar o resfriamento antes de embalar para evitar que o vapor condense dentro da embalagem.

V. Embalagem: definir a melhor embalagem para preservar e proteger o produto. A embalagem deve prevenir a perda de umidade dos bolos. Alguns bolos são comercializados dentro da forma utilizada para o forneamento para auxiliar na manutenção da forma do produto.

VI. Estocagem e expedição: em condições ideais para evitar danos ao produto. Nessa etapa acontecem mudanças químicas e físicas relacionadas ao envelhecimento dos bolos, com crescimento gradual da firmeza. O produto deve ser consumido antes de perder a qualidade sensorial e a segurança (Bennion & Bamford, 1997).

Os métodos existentes para a obtenção da massa de bolo têm suas particularidades. Quando o método de mistura é baseado na formação de um creme de açúcar, primeiro o açúcar é misturado com a gordura e emulsificante e esses ingredientes são batidos em uma velocidade rápida para conseguir uma maior aeração. Em seguida adiciona-se os ovos e continua-se o processo de formação do creme aerado. Por último os ingredientes secos, como a farinha, e os ingredientes líquidos, como água ou leite, são adicionados. Este método permite grande incorporação de ar em núcleos de tamanho reduzido (Sahi, 2007).

Em um outro método, a farinha pode ser misturada com o *shortening* para formar um creme fofo e os ovos e açúcar são misturados separadamente para formar um creme aerado mais firme. Os dois cremes são misturados e os ingredientes líquidos são incorporados lentamente. Este método tem a vantagem de formar uma textura fina e uniforme no bolo, permitindo a incorporação de maiores quantidades de açúcar e líquidos. Há também maior desenvolvimento de rede de glúten (Sahi, 2007).

No método de um único estágio todos os ingredientes são adicionados ao mesmo tempo e batidos para formar uma massa homogênea. Primeiro os ingredientes são batidos de forma lenta para homogeneização, em seguida aumenta-se a velocidade de batimento e por fim, o

processo é finalizado novamente em velocidade lenta. Independentemente do método escolhido, o agente de crescimento (fermento químico) é adicionado ao final do processo de mistura, por ter ação imediata (Sahi, 2007).

Equipamentos utilizados

Os misturadores utilizados na obtenção das massas de bolos podem ser horizontais ou verticais. Os misturadores horizontais são indicados para massas mais gordurosas e que contenham *shortenings.* Os misturadores verticais foram desenvolvidos para todos os tipos de bolos e possuem maiores velocidades de mistura disponíveis. Os misturadores e batedores movem-se de forma planetária para garantir a raspagem e batimento dos ingredientes em todo o recipiente. Existem ainda outros misturadores e batedores desenvolvidos para escala industrial operando em regime contínuo ou batelada, com enfoque em tipos de bolos ou processos específicos. Exemplos são os batedores Morton pressurizados, para bolos tipo esponja; os misturadores Tenelli, capaz de diminuir o tempo necessário para batimento da massa; misturadores contínuos tipo Oakes, para vários tipos de produtos de confeitaria e os aerados contínuos Mandomix, com injeção de ar na massa (Bennion & Bamford, 1997).

Os equipamentos utilizados para depositar a massa nas formas são chamados de depositores e tem a função de otimizar o tempo e evitar que haja perda de dióxido de carbono pela ação do agente de crescimento, antes que o bolo entre no forno. Estes equipamentos permitem depositar uma quantidade pré-determinada de massa nas formas de forma rápida. Entre os vários depositores existentes podemos citar o depositor Copeland, adequado para massas de diferentes viscosidades e os depositores mono eletrônicos, que permitem grande controle de processo e temperaturas (Sahi, 2007).

A etapa de forneamento é crítica para a qualidade dos bolos e, quando realizada de maneira incorreta, pode prejudicar o produto, mesmo que todas as etapas anteriores tenham sido realizadas de maneira correta. A temperatura de forneamento depende da natureza dos ingredientes da formulação, da forma e do tamanho dos bolos. Os fornos são escolhidos de acordo com a escala de produção. Os fornos para maiores escalas de produção permitem melhor controle de processo (Sahi, 2007).

Os resfriadores automáticos podem ser utilizados para reduzir o tempo de produção e permitir que os bolos sejam embalados mais rapidamente. Geralmente os resfriadores são acoplados a esteiras que levam os bolos para a área de embalagem. Os equipamentos mecânicos para embalar os bolos são versáteis e permitem o uso diversos de materiais de embalagens (Sahi, 2007).

Controle de qualidade

Alguns defeitos podem ser causados pela utilização de matérias-primas inadequadas ou de baixa qualidade, pelo balanceamento de formulação incorreto, por falhas no

processamento e devido às falhas no manuseio, após o forneamento. A falha conhecida como falha M é causada pelo excesso de açúcar, que causa o enfraquecimento da estrutura do bolo. A falha do tipo X é causada pelo excesso de líquido ou a utilização de farinha muito forte, resultando no encolhimento das laterais (Bennion & Bamford, 1997).

A qualidade de bolos pode ser controlada definindo parâmetros como a gravidade específica da massa (g/cm³), volume específico do bolo (cm³/g), simetria do bolo, umidade, textura e análise sensorial.

Biscoitos

De acordo com a ABIMAPI, a fabricação de produtos de panificação no Brasil em 2018 foi de 2.508.683 toneladas, dos quais 46% (1.157.051 toneladas) foram de biscoitos com o consumo per capita chegando a 5,55 Kg/ano (ABIMAPI, 2020). Na Tabela 6 podemos observar os tipos de biscoitos produzidos no Brasil com suas respectivas quantidades, é o produto de panificação com maior variedade encontrada.

A fabricação de produtos de panificação é bastante difundida mundialmente em que o Brasil ocupa a 4ª colocação no ranking mundial de produção de biscoitos (Tabela 7).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005 define biscoitos e bolachas como: "produtos obtidos pela mistura de farinha(s), amido(s) e/ou fécula(s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção, fermentados ou não. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos" (Brasil, 2005).

Tabela 6. Produção de diferentes tipos de biscoitos no Brasil

Tipo	Bilhões R$		Toneladas	
	2017	2018	2017	2018
Água e Sal / Cream Cracker	2,265	2,275	255.643	253.460
Champagne	0,050	0,054	2.286	2.391
Coberto / Palito	0,102	0,115	2.627	2.746
Cookie	0,690	0,730	21.287	22.246
Importados	0,063	0,076	1.374	1.684
Maria / Maisena	1,441	1,453	152.633	152.880
Misturado	0,039	0,037	3.582	3.360
Recheado Doce	3,843	3,682	297.823	287.360
Recheado Salgado	0,098	0,077	3.170	2.750
Rosquinha	0,818	0,903	82.753	94.018
Salgado	1,580	1,542	90.447	87.300
Secos / Doces Especiais	2,038	1,975	167.238	160.406
Waffer	1,388	1,412	85.996	86.451
TOTAL Biscoitos	**14,415**	**14,332**	**1.166.858**	**1.157.051**

Fonte: ABIMAPI, 2020.

Tabela 7. Ranking mundial de produção de biscoitos

Posição	Países	2017	2018
1º	China	2,246	2,234
2º	Estados Unidos	2,100	2,146
3º	Índia	2,016	2,069
4º	**Brasil**	**1,335**	**1,366**
5º	México	0,679	0,692
6º	Inglaterra	0,646	0,636
7º	Itália	0,610	0,620
8º	Argentina	0,536	0,546
9º	Alemanha	0,450	0,461
10º	França	0,454	0,451

Fonte: ABIMAPI, 2020.

Os biscoitos são popularmente conhecidos por sua caraterística de baixa atividade de água (entre 0,1 e 0,3), baixo conteúdo de umidade (de 2 a 8 %), elevada crocância e prolongada vida de prateleira (de 6 meses ou mais, variando de acordo com a formulação e armazenamento).

Ingredientes básicos

Os ingredientes básicos para a produção de biscoitos por tipo estão descritos na Tabela 8. Os laminados salgados englobam os *cream cracker*, água e sal, outros. Entre os laminados doces estão o maria, maisena, outros característicos. Os moldados doces são os recheados, rosquinhas e outros.

Tabela 8. Ingredientes básicos para produção de diferentes tipos de biscoitos, em porcentagem

Ingrediente	Laminados salgados	Laminados doces	Moldados doces	*Waffers*
Farinha de trigo	65	48	40	37
Água	19	13	10	61
Açúcar	3	20	25	-
Gordura	12	14	15	-
Amido	-	5	10	-
Fermento biológico	1	-	-	-
Fermento químico	-	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	1,5 – 2,0

A farinha de trigo para a fabricação de biscoitos doces laminados, biscoitos moldados, cookies e waffles deve ser do tipo fraca com baixo teor proteico (7-8 %), o que lhe dá a característica de extensível. Para biscoitos tipo cracker, fermentado enzimaticamente, alcalino ou químico, a farinha deve possuir força média com teor proteico de 8-9 % e relativa extensibilidade. Já para os biscoitos tipo cream cracker fermentados biologicamente, a farinha deve ser média-forte, com teor proteico entre 9 e 10 % e com equilíbrio entre a elasticidade e extensibilidade.

A água possui função de hidratar a farinha, dissolver os ingredientes solúveis e contribuir para a consistência. O açúcar é responsável pelo desenvolvimento da cor, aroma, sabor, textura e corpo do produto. O açúcar ideal para produção de biscoitos é o fino, pois o açúcar grosso torna o biscoito quebradiço e espesso. Formulações com maior quantidade de líquidos e com um tempo de processo mais longo permitem o uso de açúcar cristal pois favorece a solubilização deste carboidrato. O uso de açúcar líquido aumenta o diâmetro do biscoito, torna-o fino, duro e escuro. A carência de açúcar na formulação deixa o produto claro com menor diâmetro e mais espesso, enquanto o excesso deixa o biscoito duro e escuro.

A gordura é responsável por fornecer plasticidade, formar o creme, promover aeração e maciez. A carência de gordura causa biscoitos duros, menos espessos e falta do desenvolvimento da massa e o excesso causa um maior diâmetro no produto.

O uso do amido ajuda a diluir as proteínas formadoras da rede de glúten e favorece a crocância. Como agentes de crescimento, a fermentação pode ser biológica ou química. Os fermentos químicos mais utilizados são o bicarbonato de amônia que possui decomposição aos 40 °C e com isso não fica presente no produto final e o bicarbonato de sódio que, para promover a reação, necessita da presença de um sal ácido. A falta do agente de crescimento causa uma textura dura, fechada e com falta de simetria. Já o excesso causa deformação, colapso da estrutura, alteração de sabor e pouco desenvolvimento do produto final. O cloreto de sódio diminui a absorção de água, influencia no desenvolvimento da rede de glúten, favorece a retenção dos gases e promove o gosto e a liberação de compostos responsáveis por aroma e sabor (Bertolino, 2017).

Processamento

• Cream cracker

O processamento do biscoito tipo cream cracker é realizado de acordo com o fluxograma da Figura 15. Durante a laminação, os calibradores são responsáveis por reduzir a espessura da massa. Com a espessura correta a massa é marcada e cortada.

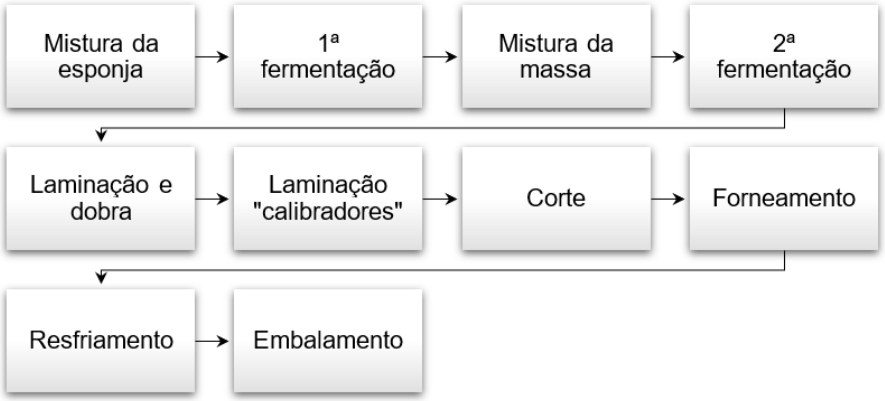


Figura 15. Fluxograma da produção de biscoitos *cream cracker*.

• Laminado doce

O processamento do biscoito tipo laminado doce é realizado de acordo com o fluxograma da Figura 16.



Figura 16. Fluxograma da produção de biscoitos laminado doce.

• Moldados e *cookies*

O processamento do biscoito tipo moldado e *cookie* é realizado de acordo com o fluxograma da Figura 17. A massa colocada no alimentador é pressionada por um rolo estriado contra um rolo moldador preenchendo a cavidade e tomando o seu formato. O excesso de massa é retirado por uma faca que tangencia o rolo moldador. Um rolo de borracha pressiona a lona que puxa os biscoitos para fora da cavidade.



Figura 17. Fluxograma da produção de biscoitos moldado e *cookies.*

Forneamento

O processo de forneamento precisa ser severamente controlado, pois a temperatura de forno normalmente é bem alta e os biscoitos apresentam uma espessura relativamente fina. Durante o forneamento, deve-se garantir a gelatinização do amido e a desnaturação das proteínas, além de promover a desidratação do biscoito e o desenvolvimento da cor característica. Desta forma, os fornos são divididos em zonas, sendo que na primeira zona se trabalha com menores temperaturas e com o sistema de exaustão do forno fechado, para garantir a presença do vapor. Após garantir o cozimento, na segunda e terceira zona a

temperatura é aumentada para garantir a expansão do biscoito e o início da formação da crosta. Na terceira zona a exaustão é aberta parcialmente. Nas demais zonas, a temperatura é diminuída e a exaustão totalmente aberta para favorecer a secagem e o desenvolvimento da cor dos biscoitos. Vale ressaltar que quanto mais rica for a formulação, menor deve ser a temperatura do forno. Na Figura 18 está exemplificado um sistema de forneamento de biscoito do tipo cracker, o qual apresenta um tempo de forneamento de 3 a 4 minutos.

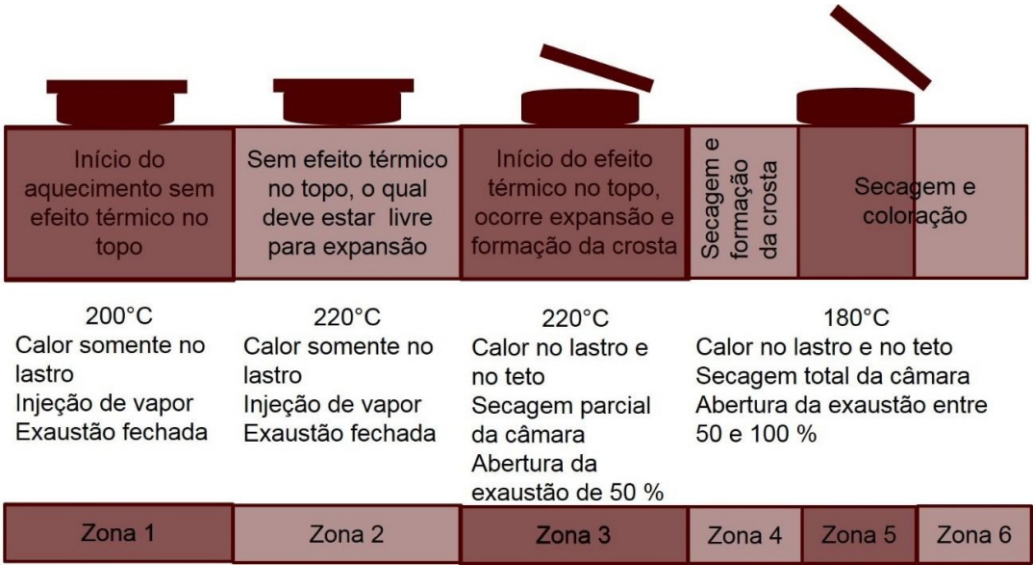


Figura 18. Esquema representando o forno da linha de produção de biscoito tipo *cracker.*

Biscoitos recheados

Em geral há dois tipos de biscoitos recheados. O primeiro é o biscoito em que o recheio está na cobertura, sendo este de produção mais fácil. O segundo exemplo, o recheio está entre dois biscoitos, o que é um grande desafio para a indústria, pois o recheio precisa ser viscoso o suficiente para ser bombeado, mas não pode escorrer entre os biscoitos. Para a produção de biscoitos recheados normalmente se utiliza biscoitos doces moldados já resfriados. O creme que é utilizado de recheio é feito basicamente por açúcar, gordura e outros componentes como aromas, corantes e lecitina. A qualidade plástica da gordura é fator chave na qualidade do creme, relacionado ao derretimento, sendo que a lecitina tem papel importante na consistência do creme, facilitando o processo de aplicação.

Após a aplicação do recheio, o conjunto de biscoito recheado deve passar por um túnel de resfriamento para a solidificação do recheio e preparo para ser embalado. A embalagem depende da qualidade da aplicação do recheio para ter alinhamento e o creme consistente que influenciam na selagem e integridade do produto final.

Produtos sem glúten

Os cereais como o trigo, a cevada e o centeio possuem entre 8 e 15 % de proteínas, dentre as quais a maioria são proteínas formadoras da rede de glúten. O glúten é uma complexa rede proteica importante para processamento de produtos desses cereais, mas que pode exercer impactos negativos à saúde de um grupo de indivíduos, relacionados a alergia e intolerância (Rubio-Tapia & Murray, 2010). Os pacientes diagnosticados com intolerância ao glúten são chamados de celíacos. A doença celíaca é uma enfermidade do sistema imunológico caracterizada pela má absorção de nutrientes devido à danos causados às células epiteliais do intestino delgado (Matos & Rosell, 2015). Os pacientes celíacos possuem uma pré-disposição genética para a susceptibilidade ao glúten e a ingestão de alimentos com esse componente causa danos à mucosa intestinal. O tratamento indicado para os pacientes celíacos é a dieta restritiva, sem a ingestão de alimentos que contém glúten (Naqash, Gani, Gani & Masoodi, 2017).

A formulação de produtos sem glúten é um desafio necessário para suprir a demanda dos pacientes celíacos, que ainda encontram opções limitadas de produtos panificados com esse perfil (Gallagher, Gormley & Arendt, 2003). Os cereais considerados *gluten-free* são: arroz, milho e sorgo. Existem também pseudocereais (como o trigo sarraceno, o amaranto e a quinoa) que são fonte de farinhas sem glúten. A farinha de arroz é o ingrediente mais difundido como alternativa à farinha de trigo devido ao seu sabor agradável, cor branca, digestibilidade e propriedades hipoalergênicas. A aveia não deve ser considerada para compor a dieta de pacientes celíacos, pois há um elevado risco de contaminação da aveia por glúten proveniente de outros cereais durante o transporte, armazenamento ou processamento (Rosell, Barro, Sousa & Carmen, 2014).

A comissão do Codex *Alimentarius* definiu que os alimentos sem glúten devem ser feitos apenas de ingredientes que não contenham prolamina de trigo ou ingredientes provenientes de quaisquer espécies vegetais com o máximo de 20 ppm de glúten. O Codex ainda definiu que o teor de glúten dos alimentos especificados como sem glúten não pode exceder 200 ppm (Codex Alimentarius Commission, 2008).

Os produtos sem glúten geralmente são desenvolvidos com uso combinado de amido, nativo ou modificado, e hidrocoloides (Rossel & Marco, 2008). Os amidos de diferentes fontes podem melhorar as propriedades de gelatinização da massa e os hidrocoloides ajudam a espessar a massa. Os hidrocoloides são polissacarídeos ou proteínas que auxiliam na retenção de água e melhora da textura (Goesaert, Slade, Levine & Delcour, 2009). Exemplos de hidrocoloides usados em formulações sem glúten são: hidroxipropilmetilcelulose (HPMC), metilcelulose (MC), carboximetilcelulose (CMC), goma guar e goma xantana (Koidis, 2016).

O tratamento dos ingredientes amiláceos, como as farinhas sem glúten ou os amidos, pode aumentar a funcionalidade desses ingredientes. O tratamento hidrotérmico pode promover a gelatinização parcial do amido, aumentando a viscosidade inicial da farinha e reduzindo a viscosidade durante o aquecimento (Onyango, 2016). Essas

alterações podem ser favoráveis para o crescimento da massa de pães durante o forneamento, pois estimula o aprisionamento dos núcleos de ar decorrentes da fermentação. Este tratamento também é favorável em formulações de massas alimentícias sem glúten, pois pode promover a característica de extensibilidade da massa e garantir maior resistência à tensão. Outro tratamento que pode ser empregado nos ingredientes amiláceos é o aquecimento a seco que estimula a absorção de água pelos grânulos de amido, garantindo qualidade tecnológica aos bolos sem glúten. Este efeito também pode ser conseguido pela extrusão, que além de gelatinizar o amido, desnatura proteínas e garante melhoria na capacidade da farinha em emulsificar e formar espuma (Naqash et al., 2017).

Pão sem glúten

Existem algumas abordagens diferentes para o desenvolvimento de pão sem glúten. A farinha isenta de glúten escolhida pode ser usada em combinação com amidos, derivados lácteos, hidrocoloides (Witczak, Ziobro, Juszczak & Korus, 2015), emulsificantes, algumas proteínas não formadoras de glúten, enzimas e prebióticos. Um ou mais desses ingredientes e aditivos podem ser utilizados (Gallagher, Gormley & Arendt, 2004; Bao, 2018; Sivaramakrishnan, 2004).

Os produtos de panificação sem glúten apresentam alguns problemas em suas características tecnológicas geralmente associados ao volume e à textura. A ausência de glúten influencia nas características da massa do pão. A massa se forma mais líquida e menos coesa que em produtos de panificação convencionais, gerando produtos defeituosos com pouco volume, sabor estranho ao paladar tradicional e rápida tendência a deteriorar. Estratégias vêm sendo desenvolvidas para elaborar produtos de panificação sem glúten com características similares aos produtos convencionais. O desafio está na melhora da estrutura, palatabilidade, aceitabilidade, vida-de-prateleira e qualidade nutricional (Koidis, 2016).

O processamento dos pães sem glúten, segundo Brites, Schmiele e Steel (2018), consiste na pesagem de matérias-primas, mistura dos ingredientes, pesagem da massa, fermentação, assamento e esfriamento. Ainda segundo os autores, não é possível realizar as etapas de boleamento e modelagem, devido à fluidez da massa, constituindo assim num processamento diferente da metodologia tradicional. O fluxograma do processo está apresentado na Figura 19.

Em formulações de pães sem glúten, os amidos de diferentes fontes são agentes de corpo e dão coesividade à massa. O amido é capaz de formar uma rede tridimensional com capacidade de reter os gases oriundos da fermentação, de forma análoga à rede de glúten (Bemiller, 2008). Porém, é preciso ressaltar que as ligações de hidrogênio entre as moléculas de amilose e amilopectina do amido são mais fracas que as ligações dissulfídricas do glúten (Gao et al., 2018; Arendt, 2008).

As massas de pães sem glúten podem apresentar mais de 70 % de umidade (em base farinha) para que sejam capazes de formar estrutura devido à gelatinização do amido. Devido ao baixo conteúdo de proteínas a serem hidratadas, essa massa se torna mais fluida, similar a uma massa de bolo. Os hidrocoloides são utilizados como miméticos da rede de glúten e para garantir características reológicas adequadas à massa, porém necessitam da presença de outros ingredientes e aditivos (Areas, Capriles & Fernanda, 2016).

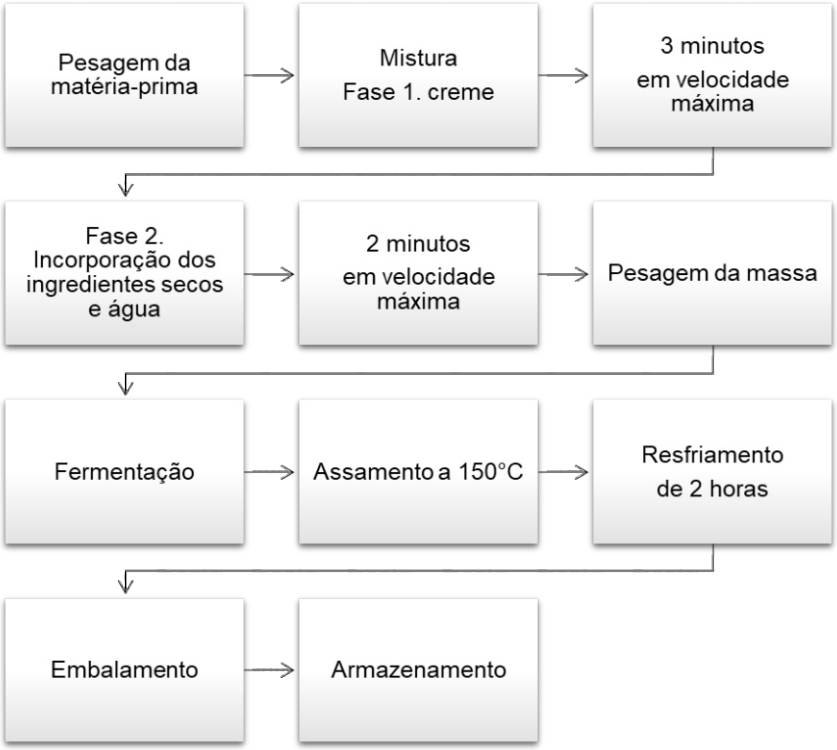


Figura 19. Fluxograma do processo de obtenção de pão sem glúten.

As propriedades da massa de pão sem glúten podem ser medidas utilizando técnicas reológicas para correlacionar suas características com a qualidade atingida pelo produto final. Os instrumentos que medem esses parâmetros registram mudanças na consistência/viscosidade da massa durante a mistura sobre condições padrão de sua capacidade de se estender sem sofrer colapso. A massa do pão precisa ter a habilidade de esticar em resposta à expansão dos gases provenientes da fermentação. Em algumas formulações, é recomendável a utilização de um agente químico de crescimento (Mir, Shah, Naik & Zargar, 2016).

A grande quantidade de água nas formulações de pães sem glúten pode causar a formação de grandes cavidades entre a crosta e o miolo e uma estrutura final fraca e difícil de cortar. O processo de forneamento de pães sem glúten é mais longo e realizado em temperaturas mais baixas que os pães convencionais. Não há uma formulação definida e mais indicada para produção de pão sem glúten. Diferentes combinações de ingredientes podem ser utilizadas, o que altera todo o processamento desde o desenvolvimento da massa até o forneamento (Koidis, 2016).

Macarrão sem glúten

A função do glúten é crucial no processamento de macarrão, pois forma uma forte rede proteica que previne a dissolução da massa durante o cozimento. Para substituir o glúten, geralmente utiliza-se amido pré-gelatinizado (Schmiele et al., 2013). Entre os ingredientes alternativos utilizados nas formulações de macarrão sem glúten estão a farinha de arroz e outras farinhas de fontes com alto conteúdo proteico como soja. A incorporação de gomas é essencial para melhorar as características de qualidade da massa. É recomendável também o uso da extrusão, uma vez que combina processos de pré-gelatinização e moldagem (Koidis, 2016).

As massas alimentícias desenvolvidas sem glúten podem perder mais sólidos durante o cozimento e mudanças na textura também são esperadas. Para contornar os defeitos e melhorar a qualidade do macarrão sem glúten pode-se adicionar hidrocoloides, gomas e proteínas (Romero, Santra, Rose & Zhang, 2017).

Biscoitos e bolos sem glúten

O desafio da substituição do glúten em biscoitos e bolos é menor, porque o desenvolvimento da massa é baseado nas transformações do amido e não é fundamental o desenvolvimento de rede de glúten, exceto para o biscoito cream cracker. Esses produtos são importantes fontes alternativas de carboidratos na dieta dos pacientes celíacos. A formulação de biscoitos e bolos sem glúten é baseada em amidos e proteínas e as farinhas de milho e arroz são geralmente as mais utilizadas.

No entanto, o excesso de amido pode reduzir a qualidade dos biscoitos em termos tecnológicos ou sensoriais, por isso o uso de hidrocoloides é recomendado (Cairano, Galgano, Tolve, Caruso & Condelli, 2018).

A incorporação de fibras em formulações de bolos, além de melhorar características nutricionais, pode produzir bolos de melhor volume com miolo e crosta mais brilhantes. É importante observar a granulometria da farinha utilizada. Farinhas de menor granulometria favorecem a hidratação, mas afetam a estrutura final dos produtos. As gomas e hidrocoloides são importantes para melhorar a textura e aparência. Alguns aditivos como enzimas, emulsificantes e ácidos podem ser recomendados para melhorar a estrutura, textura, aceitabilidade e vida-de-prateleira dos produtos sem glúten (Naqash et al., 2017).



TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES NO SETOR

Os avanços na tecnologia de cereais ainda são extremamente desafiadores. Desenvolvimento de técnicas e processos que permitem avançar no processamento de cereais e derivados incluem a obtenção de fontes alternativas de amidos e amidos modificados obtidos através de tecnologia limpa. O uso de técnicas emergentes como a alta pressão, ultrassom, infravermelho, micro-ondas, plasma e termodextrinização podem possibilitar o desenvolvimento de amidos para aplicação em produtos alimentícios e não alimentícios. Métodos de sanitização de grãos sem o uso de agentes químicos são extremamente importantes para inibir ou retardar o desenvolvimento de micro-organismos em produtos com aplicação de grãos inteiros ou produtos integrais.

Dentre os produtos de panificação, o uso de massas ácidas ou de longa fermentação tem apresentado destaque em nível mundial, principalmente por permitirem a elaboração de pães com recuperação de aromas e desenvolvimento de texturas particulares. Além disso, o uso cada vez menor de aditivos químicos tem sido amplamente discutido e já há técnicas disponíveis para a indústria. Em geral, os aditivos químicos têm sido substituídos por ingredientes naturais, pela aplicação de enzimas ou de bacteriocinas e/ou bacteriostáticos. A elaboração de massas com alta hidratação (cerca de 70 a 90 %) apresenta-se como uma provável novidade no mercado de panificação, além do uso de produtos naturais ou minimamente processados.

A aplicação de micro-organismos probióticos (microencapsulados ou esporulados) com resistência ao tratamento térmico estão sendo estudados. Além disso, uso de fibras solúveis com propriedades prebióticas como inulina, fruto-oligossacarídeos, xilo-oligossacarídeos, manano-oligossacarídeos e galacto-oligossacarídeos ganham notação para aplicação em produtos de panificação. A aplicação conjunta dos probióticos e dos prebióticos apresentam sinergismo, denominados de simbióticos. Estes conceitos têm ganho maior notoriedade com os novos conceitos relacionados aos parabióticos, posbióticos e psicobióticos.

O crescimento da população com restrição ao consumo do glúten por meio da doença celíaca, da alergia ao trigo e da sensibilidade ao glúten não celíaco, ou por parte de indivíduos que excluem o glúten da dieta por questões sociais, culturais ou como estilo de vida tem impulsionado o crescimento dos produtos gluten-free.

Como os produtos de panificação, em geral, apresentam alto índice glicêmico e carga glicêmica, o desenvolvimento de produtos low carb apresenta-se como emergente. Amidos de digestibilidade lenta ou substitutos de carboidratos digeríveis estão cada vez mais evidentes, os quais podem ser obtidos através da reorganização parcial da estrutura cristalina do amido ou pela interação do amido com outros componentes, como alguns hidrocoloides.

Outra novidade no setor tem sido o uso de fibras brancas para produção de alimentos com alto teor de fibra alimentar, pois as fibras tradicionais apresentam coloração escura e

tendem a sofrer rejeição pelo consumidor. Com a regulamentação sobre uso de fibras alimentares e apelo de integrais, o desenvolvimento e aplicação de fibras alimentares não convencionais (frutas, folhas, caules, colmos, raízes) ganha mercado.

Ingredientes obtidos através de processos germinativos ou aplicação de enzimas e micro-organismos têm permitido o incremento nas propriedades tecno funcionais dos cereais e pseudocereais, permitindo o desenvolvimento de produtos com aumento nos teores de compostos bioativos, com propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, além de auxiliar na prevenção no desenvolvimento de doenças crônicas não degenerativas.

Desta forma, cada vez mais o setor de alimentos tem apresentado novidades para os consumidores. Além da exigência cada vez maior do mercado consumidor, a saudabilidade, a sensorialidade e o prazer em consumir alimentos balanceados e nutricionalmente adequados são o futuro das indústrias de alimentos.

Ressalta-se a importância de perceber a necessidade de mudança, além de estar ciente de que as inovações não ocorrem de um dia para o outro. É preciso um investimento em profissionais qualificados e preparados para melhor atender as necessidades de seus clientes, tanto no preparo desses produtos diferenciados quanto no momento da venda. É fundamental que os profissionais dominem o processo de fabricação do produto para um resultado atraente e que estejam aptos a preparar um *portfólio* de produtos com êxito. A verificação da aceitação dos produtos oferecidos e o investimento na produção daqueles que geram lucro e aprovação são primordiais.

Super padarias são um fenômeno comum no Brasil. Os empreendedores desejam implementar atividades adicionais quando acreditam que podem ter lucro. É quando vemos os conceitos de padaria híbrida, combinando varejo e *foodservice,* na medida em que buscam se beneficiar do atual crescimento do consumo fora de casa.

Ingredientes de grãos inteiros serão encontrados em pelo menos 2/3 dos produtos à base de cereais nos próximos 5 anos. As tendências observadas nesta importante categoria oferecida para a dieta da população demonstram mudanças positivas na composição de nutrientes que podem ter um impacto importante na saúde pública.

Grãos de cereais como trigo, arroz e milho são alimentos básicos consumidos em todo o mundo e, portanto, desempenham papel decisivo tanto na produção agrícola quanto na alimentação da população mundial. Os grãos de cereais, intactos ou como farinhas integrais ou refinadas, são processados em uma ampla variedade de alimentos, que vão desde pães e produtos de confeitaria até cereais matinais e massas alimentícias. Além disso, determinadas frações ou componentes de grãos podem ser incorporados em formulações de alimentos para melhorar suas propriedades nutricionais ou funcionais. Estes incluem as fibras alimentares, vitaminas e minerais, amidos de cereais parcialmente digeridos ou resistentes e metabólitos secundários, como compostos fenólicos com funções bem estabelecidas na saúde e no bem-estar humanos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e ao Instituto de Ciência e Tecnologia pelo suporte institucional e à Capes pelo suporte financeiro (código 001). Além disso, agradecemos ao CNPq pela concessão das bolsas de estudos de M.S. Pereira e A.R. Souza (processos 142517/2019-4 e 141266/2019-8, respectivamente) e pelo suporte financeiro (projeto Universal 424938/2016-2). À FAPEMIG pela bolsa de estudos de P.T.G. Gomes (identificador 13100). Agradecemos ainda ao LMMA (UFVJM) patrocinado pela FAPEMIG (CEX-112-10), SECTES/MG e RQ-MG (FAPEMIG: CEX-RED-00010-14).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of Cereal Chemists International (ACCI) (2010) Approved methods of the AACC. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc.

Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (ABIMAPI). Estatísticas. Disponível em: <https://www.abimapi.com.br/estatistica-abimapi.php>. Recuperado em 21 de abril de 2020.

Amorim, M.S.F., Souza, A.R., Clerici, M.T.P.S., Chang, Y.K & Schmiele, M. (2017) Amidos modificados por tratamento térmico não convencional melhoram a qualidade da massa e de pão sem glúten. Em: II Simpósio de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Minas Gerais: Sustentabilidade: Uma nova perspectiva na produção de alimentos. Minas Gerais: UFMG, p. 509-514.

Areas, A.G., Capriles, V.D. & Fernanda, G. (2016). Gluten-free breadmaking: improving nutritional and bioactive compounds. Journal of Cereal Science, 67:83-91.

Arendt, E.K., Morrissey, A., Moore, M.M. & Bello, F.D. (2008). Gluten-free breads. Em: Arendt, E.K. & Bello, F.D. Gluten-free cereal products and beverages. Cambridge: Academic Press.

Balhmann, C.L. & Lanzarini, D.P. (2013) Estudo reológico e físico-químico das farinhas de trigo destinadas a panificação produzidas em moinhos da região de Francisco Beltrão. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, PR, Brasil.

Bao, J. & Bergman, C.J. (2018) Rice Flour and Starch Functionality. Em: Sjöö, M. & Nilsson, L. Starch in food: structure, function and applications Cambridge: Academic Press.

Bemiller, J.N. (2008). Hydrocolloids. Em: Arendt, E.K. & Bello, F.D. Gluten-free cereal products and beverages. Cambridge: Academic Press.

Bender, A.E. (2004) Dicionário de Nutrição e Tecnologia de Alimentos. São Paulo: Roca, 212 p.

Bennion, E.B. & Bamford, G.S.T. (1997). The technology of cake making. London: Blackie.

BERTOLINO, M.T. (2017). Ciência e tecnologia para a produção de biscoitos: handbook do biscoitero. São Paulo:Varela.

Brasil (2001) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Lei nº 10.273, de 05 de setembro de 2001. Dispõe sobre o uso do bromato de potássio na farinha e nos produtos de panificação. D. O. eletrônico de 06 de setembro de 2001, p 6.

Brasil (1999) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 383, de 05 de agosto de 1999. Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 7 - produtos de panificação e biscoitos. Diário Oficial da União n° 151 de 9 de agosto de 1999.

Brasil (2005) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 273, 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para misturas para o preparo de alimentos e alimentos prontos para o consumo. Diário Oficial da União, n°184 de 23 de setembro de 2005.

Brasil (2005) Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União n°184 de 23 de setembro de 2005, p 368.

Brites, L.T.G.F., Schmiele, M. & Steel, C.J. (2018). Gluten-free bakery and pasta products. Em: Grumezescu, A.; Holban, A.M. (Eds). Alternative and replacement foods. Cambridge: Academic Press.

Cairano, M., Galgano, F., Tolve, R., Caruso, M.C. & Condelli, N. (2018). Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues. Trends in Food Science & Technology, 81:203-212.

Cauvain, S.P. & Young, L.S. (2014) Bakery food manufacture and quality water control and effects. Hoboken (USA): Wiley-Blackwell.

Cauvain, S.P. & Young, L.S. (2009). Tecnologia da panificação. Barueri: Manole.

Cauvain, S.P. & Young, L.S. (2006). The Chorleywood bread process. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.

Clerici, M.T.P.S., Sampaio, U.M. & Schmiele, M. (2019) Identification and analysis of starch. Em: Clerici, M. T. P. S. & Schmiele, M. Starches for food application: chemical, technological and health. Cambridge: Academic Press.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. (2008). Draft Revised Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten. Disponível em <www.fao.org/input/download/standards/291/CXS_118e_2015.pdf>. Acesso em 21 de abril de 2020.

Conto, L.C., Plata-Oviedo, M.S.V., Steel, C.J. & Chang Y.K. (2011). Physico-chemical, morphological, and pasting properties of pine nut (Araucaria angustifolia) starch oxidized with different levels of sodium hypochlorite. Starch/Starke, 63,198-208.

Correia, P.M.R. & Guiné, R.P.F. (2014). Transportation and storage of cereals. Em: Guiné, R.P.F. & Correia, P.M.R. Engineering aspects of cereal and cereal-based products. Boca Raton: CRC Press.

Czuchajowska, Z. & Paszczyñska, B. (1996). Is wet gluten good for baking? Cereal Chemistry, 73,483-489.

Demirkesen, L., Mert, B., Sumnu, G. & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. Journal of Food Engineering, 96,295-303.

Dubat, A. (2010). A new AACC International approved method to measure rheological properties of a dough sample. Cereal Foods World, 55,150-153.

Edwards, W. P. (2007) The science of bakery products. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 259 p.

Gallagher, E., Gormley, T.R. & Arendt, E.K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. Journal of Food Engineering, 56:153-161.

Gallagher, E., Gormley, T.R. & Arendt, E.K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology, 15:143-152.

Gao, Y., Janes, M.E., Chaiya, B., Brennan, M.A., Brennan, C.S. & Prinyawiwatkul, W. (2018). Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. International Journal of Food Science and Technology, 53:19-32.

Goesaert, H., Slade, L., Levine, L. & Delcour, J.A. (2009). Amylases and bread firming – an integrated view. Journal of Cereal Science, 50:345-352.

Guiné, R.P.F. & Coreia, P.M.R. (2014). Engineering aspects of cereal and cereal-based products. Boca Raton (USA): CRC Press.

Hou, G.G. (2010). Asian noodles: science, technology, and processing. Hoboken: Wiley-Blackwell.

Hou, G.G. (2001). Oriental noodles. Advances in Food Nutrition Research, 43:143-93.

Hummel, C. (1966). Macaroni products: manufacture, processing and packing. London: Food Trade.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) (2022) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Recuperado em 06 de maio de 2022 em https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques.

Jaeckel, L.Z. & Schmiele M. (2015) Tecnologia de cereais. Em: Fernandes, M.S. & Garcia, R.K.A. Princípios e inovações em ciência e tecnologia de alimentos. Rio de Janeiro: AMC Guedes.

Jaekel, L. Z., Schmiele, M., Rodrigues, R. S. & Chang, Y. K. (2015). Influence of the extrusion process on the technological properties of hydroxypropylated cross-linked cassava starch. Journal of Food Science and Technology, 52,7305-7312.

Kill, R.C & Turnbull, K. (2008). Pasta and semolina technology. Hoboken: Wiley-Blackwell.

Koidis, A. (2016). Developing food products for consumers on a gluten-free diet. Em: Osborn, S.; Morley, W. (Eds). Developing food products for consumers with specific dietary needs. Cambridge: Woodhead Publishing.

Kruger, J.E., Matsuo, R.B. & Dick, J.W. (1996). Pasta and noodle technology. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists.

Láng, L., Rakszegi, M. & Bedõ, Z. (2014) Cereal production and its characteristics. Em: Guiné, R. P. F. & Coreia, P. M. R. Engineering aspects of cereal and cereal-based products. Boca Raton (USA): CRC Press.

Manisha, G., Soumya, C. & Indrani, D. (2012). Studies on interaction between stevioside, liquid sorbitol, hydrocolloids and emulsifiers for replacement of sugar in cakes. Food Hydrocolloids, 29:363-373.

Martínez-Cervera, S., Salvador, A. & Sanz, T. (2014). Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: thermal, rheological, texture and acceptability properties. Food Hydrocolloids, 35:1-8.

Matos, M.E. & Rosell, C.M. (2015). Understanding gluten-free dough for reaching breads with physical quality and nutritional balance. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95:653-661.

Mau, J., Lee, C., Chen, Y. & Lin, S. (2017). Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cake prepared with black rice as replacement for wheat flour. LWT - Food Science and Technology, 75:434-439.

Miller, R. (2016). Cakes: Types of cakes. Em: Caballero, B., Finglas, P.M. & Toldrá, F. Encyclopedia of Food and Health. Oxfod: Academic Press.

Mir, S.A., Shah, M.A., Naik, H.R. & Zargar, I.A. (2016). Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. Trends in Food Science & Technology, 51:49-57.

Módenes, A.N., Silva, A.M. & Trigueros, D.E.G. (2009). Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 3, 508-512.

Naqash, F., Gani, A., Gani, A., Masoodi, F.A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. Trends in Food Science & Technology, 66:98-107.

Neves, N.A., Gomes, P.T.G., Carmo, E.M.R., Silva, B.S., Amaral, T.N. & Schmiele, M. (2020) Utilização de fermentação natural e jabuticaba (Plinia cauliflora) para melhoria das características de pães de forma. Research, Society and Development, 9 (11), 1-24.

Nitzke, J.A. & Thys, R.C.S. (2020) Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo. Recuperado em 20 de abril de 2020 de https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/index.php.

Onyango, C. (2016). Starch and modified starch in bread making: A review. African Journal of Food Science, 10:344-351.

Ortolan, F., Hecktheuer, L.H. & Miranda, M.Z. (2010). Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 ºC) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. Food Science and Technology, 30, 55-59.

Ortolan, F. & Steel, C.J. (2017). Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16, 369-381.

Paraskevopoulou, A.; Donsouzi, S.; Nikiforidis, C.V.; Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. Food Research International, 69:72-79.

Pereira, E.P.R., Amorim, E.O.C., Ambiel, H.C.I. & Chang, Y.K. (2009). Influência de agentes oxidantes sobre as propriedades reológicas de massas de farinha de trigo branca e de grão inteiro e sobre o volume específico de pão francês. Brazilian Journal of Food Technology, 12,161-171.

Quayson, E.T., Atwell, W., Morris,C.F. & Marti, A. (2016). Empirical rheology and pasting properties of soft-textured durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum) and hard-textured common wheat (T. aestivum). Journal of Cereal Science, 69:252-258.

Rodriguez, J., Dugan, B; McGaughey, M. (2020) Science of Baking – Foundation. Recuperado em 20 de abril de 2020 de https://www.aibinternational.com/en/Training/Baking/Baking-Foundations/Science-of-Baking/Science-of-Baking-Module-1-Foundations.

Rodriguez, J., Dugan, B; McGaughey, M. (2020) Science of Baking – Ingredient Technology. Recuperado em 20 de abril de 2020 de https://www.aibinternational.com/en/Training/Baking/Baking-Foundations/Science-of-Baking/Science-of-Baking-Module-2-Ingredient-Technology.

Romero, H.M., Santra, D., Rose, D. & Zhang, Y. (2017). Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour. Journal of Cereal Science, 74:238-243.

Rosell, C.M., Barro, F., Sousa, C. & Carmen, M. (2014). Cereals for developing gluten-free products and analytical tools for gluten detection. Journal of Cereal Science, 59:354-364.

Rubio-Tapia, A. & Murray, J.A. (2010). Celiac disease. Current Opinion in Gastroenterology, 26:116-22.

SAHI, S.S. (2007). Cake emulsions. Em: Summu, S.G. & Sahin, S. Food engineering aspects of baking sweet goods. London: CRC Press.

Santos, V.S., Sehn, G.A.R., Schmiele, M., Chang, Y.K. & Steel, C.J. (2014) Rheological properties of chestnut and normal maize starches esterified with octenyl succinic anhydride. Em: 2014 AACC International Annual Meeting, Saint Paul: AACC.

Schmiele, M., Araújo, T.L., Gurgueira, M.D. & Chang, Y.K. (2015). Determination of the concentration of different solvents systems in the protein solubilization of meat analogue. Ciência Rural, 45,1120-1125.

Schmiele, M., Felisberto, M.H.F., Clerici, M.T.P.S. & Chang, Y.K. (2017). Mixolab for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. LWT-Food Science and Technology, 76,259-269.

Schmiele, M., Jaekel, L.Z., Ishida, P.M.G., Chang, Y.K. & Steel, C.J. (2013). Gluten-free pasta with high protein content obtained by conventional processing. Ciência Rural, 43,908-914.

Schmiele, M., Sampaio, U.M., Gomes, P.T.G., Clerici, M.T.P.S. (2019) Physical modifications of starch. Em. Clerici, M.T.P.S. & Schmiele, M. Starches for food application: chemical, technological and health. Cambridge: Academic Press.

Schmiele, M., Sehn, G.A.R., Santos, V.S., Rocha, T.S., Almeida, E.L., Nabeshima, E.H., Chang, Y.K. & Steel, C.J. (2015). Physicochemical, structural and rheological properties of chestnut (Castanea sativa) starch. American Journal of Food Science and Technology, 3,1-7.

Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B. & Chattopadhyay, P.K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. Journal of Food Engineering, 62:37-45.

Souza, A.R., Schmiele M. (2021) Custard apple puree, fructooligosaccharide and soy protein hydrolysate as alternative ingredients in low carb pound cake. Journal of Food Science and Technolology. Recuperado em 15 julho, 2021, de https://doi.org/10.1007/s13197-021-05155-9.

Tedrus, G.A.S., Ormenese, R.C.S.C., Speranza, S.M., Chang Y.K. & Bustos, F.M. (2001). Estudo da adição de vital glúten à farinha de arroz, farinha de aveia e amido de trigo na qualidade de pães. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 21, 20-25.

United States Department of Agriculture (USDA) (2020). Grain: World Markets and Trade. Recuperado em 10 de abril de 2020 de https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf.

Vernaza, M.G., Biasutti, E., Schmiele, M., Jaekel, L.Z., Bannwart, A. & Chang, Y.K. (2012). Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. International Journal of Food Science & Technology, 47:1302-1312.

Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K. & Delcour, J.A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. Trends in Food Science and Technology, 30:6-15.

Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. & Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems – A review. Journal of Cereal Science, 67:46-57.

Zardo, F.P. (2010) Análises laboratoriais para o controle de qualidade da farinha de trigo. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, RS, Brasil.

Zhang, N. & MA, G. (2016). Noodles, traditionally and today. Journal of Ethnic Foods, 3, 209-212.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S. & Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. International Journal of Food Science and Technology, 37, 849-868.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.003

CAPÍTULO 3

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO DE LEITE E DERIVADOS

Larissa de Oliveira Ferreira Rocha[1,*], Hugo José Martins Carvalho[1]

Resumo

O leite é um alimento rico, composto por diversas substâncias. A composição está relacionada com a elaboração dos derivados lácteos e o rendimento industrial. As características físico-químicas e microbiológicas, as propriedades nutricionais e características sensoriais são fortemente influenciadas por variações na composição. O processamento industrial do leite consiste em um conjunto de operações realizadas em estabelecimentos industriais que tornarão o leite apto para consumo humano. Neste capítulo, são apresentadas as definições, os mecanismos envolvidos na síntese do leite pela glândula mamária e os principais componentes do leite. Descreve o processamento do leite fluido, abordando a legislação vigente para os estabelecimentos industriais envolvidos e as operações de pré-beneficiamento (filtração, clarificação, bactofugação, microfiltração, termização, homogeneização e refrigeração) e beneficiamento do leite (pasteurização e tratamento UHT), sendo apresentados os objetivos e equipamentos utilizados. São descritos os diferentes produtos lácteos produzidos no Brasil, sua classificação e as etapas de fabricação. As definições e classificações são baseadas nas atualizações das legislações vigentes. Ao final, são abordadas as inovações no setor de lácteos, como os novos probióticos, termo *clean label* (rótulo limpo) e leite A2, e um breve relato sobre o processamento de separação por membranas e tecnologias emergentes.

Palavras-chaves: glândula mamária; beneficiamento; produtos lácteos; probióticos; novas tecnologias.

[1]Laboratório de Ciência e Tecnologia de Leite e Derivados - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Instituto de Ciência e Tecnologia
*email: larissa.rocha@ict.ufvjm.edu.br



INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do leite é uma das mais importantes atividades da economia brasileira. Sendo produzido em quase todos os municípios do País, o leite gera milhões de empregos em todas as etapas da cadeia produtiva. Em abril de 2021, o valor bruto da produção pecuária de leite fechou em R$ 48,3 bilhões (Brasil, 2018f). Esse resultado colocou a atividade leiteira em terceiro lugar, perdendo apenas para a pecuária bovina e de frangos.

Estima-se que o consumo aparente per capita no Brasil em 2017 foi de 173 litros/habitante, volume que ainda se encontra abaixo de indicadores verificados em outros países desenvolvidos (na faixa de 250-300 litros), mas bem acima do total consumido há uma década. No entanto, o consumo de lácteos aumentou 33% entre os anos de 2008 e 2017. Os aumentos percentuais mais significativos se deram nas categorias de queijos (56%), leite em pó (45 %) e leite UHT (32 %) (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2018).

Entre 1990 e 2019, a produção de leite cresceu 139 %, o volume de leite inspecionado de 2019 foi o maior dos últimos dez anos. Com os resultados alcançados, houve crescimento do consumo aparente per capita formal de 1,8 %, atingindo 124 litros/hab/ano – aumento de 1,3 litro por habitante, enquanto o consumo per capita total, com a soma do leite não-inspecionado, aproximou-se dos 170 l/hab/ano (EMBRAPA, 2020).

Segundo dados da Associação Brasileira de Supermercados [ABRAS], a venda de derivados de leite cresceu 5,3 % no primeiro semestre de 2020 em relação ao mesmo período do ano anterior. Na categoria, produtos como creme de leite, requeijão, leite em pó, leite condensado, leite fermentado e leite UHT (Longa Vida) foram os que mais tiveram saída nos supermercados (Associação Brasileira de Supermercados [ABRAS], 2020).

Desde os primórdios da civilização, o leite tem sido utilizado na alimentação humana como fonte de proteína, gordura, energia e outros constituintes essenciais (Tronco, 2010).

O regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (RIISPOA), que disciplina a fiscalização e a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal, define leite como o produto oriundo da ordenha completa, ininterrupta, em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. O leite de outros animais deve denominar-se segundo a espécie de que proceda (Brasil, 2020).

Ainda segundo o RIISPOA (Brasil, 2020), é permitida a produção dos seguintes tipos de leites fluidos: leite cru refrigerado; leite fluido a granel de uso industrial; leite pasteurizado; leite submetido ao processo de ultra-alta temperatura UAT ou UHT; leite esterilizado e leite reconstituído. Sendo que, para consumo humano direto, são permitidos apenas o leite pasteurizado, UHT, esterilizado e reconstituído. Os derivados lácteos compreendem a seguinte classificação: produtos lácteos; produtos lácteos compostos; e misturas lácteas. Além da classificação dos tipos de leite e derivados, o regulamento também classifica os estabelecimentos de leite e derivados em: granja leiteira; posto de refrigeração; usina de beneficiamento; fábrica de laticínios e queijaria.

Neste capítulo, abordaremos os tipos de estabelecimentos de leite e derivados permitidos pela legislação vigente; as etapas de processamento do leite; a classificação dos diferentes tipos de leite fluido e derivados lácteos, bem como as atualizações das legislações vigentes e as inovações no setor de lácteos.

1. Mercado e indicadores do setor lácteo

A cadeia produtiva do leite é uma das mais importantes atividades da economia brasileira. Sendo produzido em quase todos os municípios do País, o leite gera milhões de empregos em todas as etapas da cadeia produtiva. Em janeiro de 2021, o valor bruto da produção pecuária de leite fechou em R$ 48,3 bilhões (BRASIL, 2018f). Esse resultado colocou a atividade leiteira em terceiro lugar, perdendo apenas para a pecuária bovina e de frangos.

Em 2020, os laticínios que atuam sob algum tipo de serviço de inspeção sanitária captaram 25,5 bilhões de litros, aumento de 2,1 % em comparação com 2019. O resultado deu continuidade à sequência de resultados positivos, observada desde 2017 (IBGE, 2021).

A captação dos 13 maiores laticínios do Brasil somou 7,871 milhões de litros em 2019, com crescimento de 4,1 % sobre 2018 (7,563 milhões de litros). A Nestlé manteve a liderança na captação de leite em 2019. O Laticínios Bela Vista, dono da marca Piracanjuba, manteve a segunda colocação do ranking. O Levantamento dos Maiores Laticínios do Brasil pode ser observado na Tabela 1 (EMBRAPA, 2020).

Tabela 1 – Ranking dos 13 maiores laticínios por litros/produtor em 2018.

Classificação	Empresas/Marcas	Recepção Leite (Mil Litros)	
		2018	2019
		Total	Total
1ª	Nestlé	1.616.500	1.482.275
2ª	Latic. Bela Vista	1.387.159	1.457.537
3ª	UNIUM (3)	1.142.607	1.251.157
4ª	Embaré	542.770	549.909
5ª	Aurora	522.500	530.500
6ª	CCGL	456.425	477.889
7ª	Cativa	300.265	425.798
8ª	Jussara	393.994	407.714
9ª	Vigor	336.433	348.726
10ª	Danone	338.008	293.634
11ª	DPA Brasil	247.547	257.193
12ª	Frimesa	200.445	227.190
13ª	CentroLeite	205.347	221.984
Total do Ranking		7.563.151	7.871.500

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2020).

O consumo de leite e lácteos aumentou nos últimos sete anos (Tabela 2). Os dados apontam que os aumentos percentuais mais significativos se deram nas categorias de queijos (56 %), leite em pó (45 %) e leite UHT (32 %). O único produto que apresentou retração no consumo no período analisado foi o leite pasteurizado (-38 %). No entanto, tudo indica que isso deve mudar nos próximos anos, pois a imagem do leite pasteurizado tipo A está renovada. Atualmente, é considerado um leite *premium,* com oferta a preços maiores, assim como as margens obtidas pela indústria. Isso ocorre porque o leite pasteurizado tipo A atende à demanda de produtos mais naturais e menos processados. Apesar de não estar explicitamente exposto na tabela 1, os iogurtes também merecem destaque. Eles atendem às novas tendências de densidade nutricional e conveniência. Além disso, o interesse dos consumidores pelos iogurtes tem crescido devido ao seu teor de proteínas e aos ingredientes benéficos à saúde que podem ser adicionados facilmente a estes produtos, como por exemplo fibras, probióticos e prebióticos (EMBRAPA, 2018).

Tabela 2 – Evolução do consumo de leite e derivados lácteos no Brasil (bilhões de litros).

Descrição	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Leite pasteurizado	1690	1625	1430	1340	1220	1094	1105	1120
Leite UHT	5455	5818	6132	6385	6600	6730	6832	7026
Leite em pó	5615	6099	6252	6370	6260	6340	6607	6638
Queijos	6641	7079	7253	7763	8173	8198	8243	8406
Demais produtos	2451	2293	2361	2573	2728	2287	1953	2004
Total	21852	22894	23428	24431	24981	24649	24741	25194

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2018).

O consumo nos próximos anos deve estar próximo da produção. Estima-se um crescimento anual de 2,1 % ao ano durante o período das projeções (Brasil 2017/18 a 2027/2028), mas pode chegar a 3,3 %. Ainda em relação ao consumo, acredita-se que possa também haver uma evolução um pouco superior no longo prazo, sobretudo com um crescimento em produtos de maior valor agregado como queijos. O mercado de queijos tende a passar por profundas transformações no Brasil, tanto pelo crescimento dos artesanais, quanto pela chegada de empresas multinacionais com tradição na produção de queijo em outros países (Brasil, 2018e).

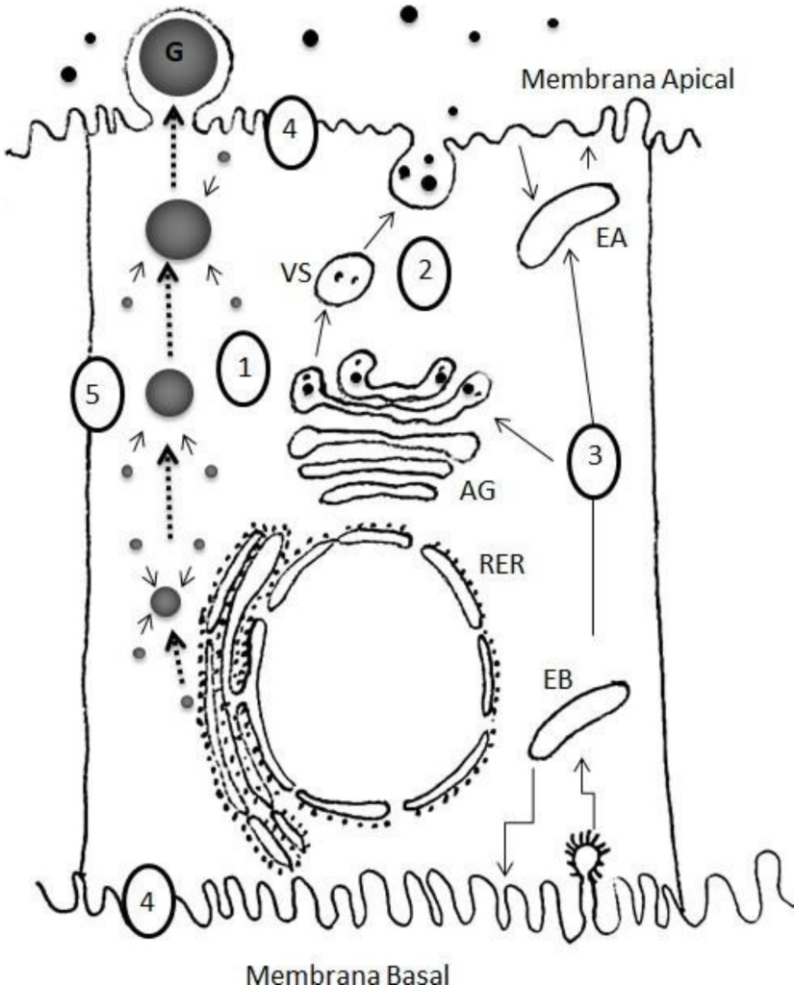
2. Definição, síntese e composição do leite

Segundo o Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, que dispõe sobre o regulamento de inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal (Brasil, 2020) entende-se por leite, o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas, sendo essa ordenha realizada em condições de higiene.

O leite do ponto de vista físico-químico é considerado como uma mistura homogênea de diferentes substâncias, tais como água, proteínas, lactose, gordura, sais minerais e vitaminas. Dentre estas, algumas estão em emulsão (gordura e substâncias associadas), algumas em suspensão (as caseínas ligadas a sais minerais) e outras em dissolução verdadeira (lactose, vitaminas hidrossolúveis, proteínas do soro, sais, etc.) (Chaves, 2011; Ordóñez et al., 2005).

Na glândula mamária, mais especificamente nos alvéolos, estão as células secretoras de leite. As células epiteliais secretoras estão organizadas sob uma membrana basal, sendo que a parte apical das células encontra-se voltada para o lúmen do alvéolo. Do sangue, os principais constituintes do leite são diretamente sintetizados e secretados das células epiteliais mamárias para o lúmen alveolar ou transportados através da barreira epitelial de outras fontes. Os lipídeos se originam do retículo endoplasmático rugoso como pequenas gotículas, por fusão as gotículas crescem em volume formando gotículas maiores, especialmente na superfície apical, e são secretadas carreando parte da membrana apical do plasma, dando origem ao glóbulo de gordura do leite. Proteínas específicas de células epiteliais mamárias, como as caseínas, α-lactoalbumina e β-lactoglobulina e pelo menos alguns minerais e água são secretados por exocitose. Algumas proteínas, como a albumina sérica e imunoglobulinas e outros constituintes que se originam de outras células que não as secretoras de leite, são transportadas através do epitélio mamário por transcitose. Uma fração dos minerais, pequenas moléculas e água são transportadas através das membranas basal e apical por transportadores ligados à membrana; e os constituintes podem passar entre as células por uma via paracelular se as junções epiteliais forem permeáveis (Figura 1) (Fox & McSweeney, 1998; Nurit & Mather, 2011).

Figura 1 – Processo de secreção dos constituintes do leite

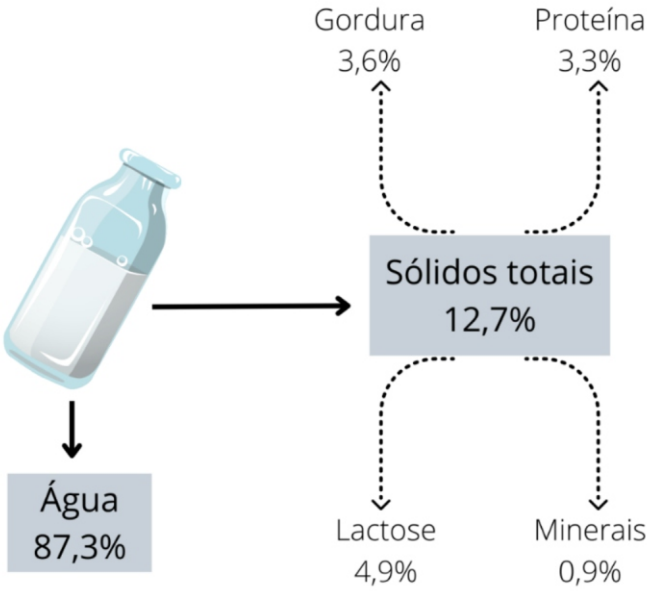


Fonte: Adaptado de (Nurit & Mather, 2011)

Legenda: 1 – Via 1: Secreção lipídica; 2 – Via 2: Secreção de proteínas; 3: Transcitose; 4 – Via 4: Transporte de íons; 5 – Via 5: Transporte paracelular; RER: Retículo Endoplasmático Rugoso; AG: Aparelho de Golgi; VS: Vesículas Secretoras; G: Glóbulo de gordura; EB Endossomos basal; EA: Endossomos Apical.

Os principais componentes do leite estão apresentados na Figura 2. Entretanto, a sua composição pode sofrer algumas alterações decorrentes da nutrição do animal; fatores fisiológicos; fatores climáticos; fatores alimentícios; fatores genéticos e fatores zootécnicos (Penna, 2009).

Figura 2 – Composição média do leite de vaca.

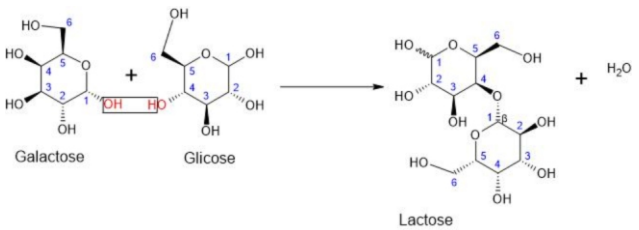


Fonte: Autores 2021.

A água é o constituinte majoritário do leite em média 87,3 %. Os 12,7 % restantes representam o extrato seco do leite ou sólidos totais, no qual se encontram em solução os demais compostos (Tronco, 2010).

A lactose é o principal carboidrato presente em quantidades importantes em todos os leites, bem como o mais abundante, o mais simples e o mais constante. Apresenta-se em proporção compreendidas entre 4,5 e 5,0 %. Quimicamente a lactose (Figura 3) é um dissacarídeo redutor formado por D-glicose e D-galactose unidos por uma ligação glicosídica do tipo β-1,4. A lactose, quando em solução, apresenta-se sob duas formas de características diversas, alfa e beta (Figura 3), e tem comportamento muito especial. Apresenta baixo poder edulcorante (6 vezes menor que o da sacarose) e baixa solubilidade (17,8 gramas por 100g de solução), o que pode causar problemas durante determinados processos ao qual o leite é submetido, como, por exemplo, na fabricação de sorvetes, doce de leite e leite condensado. Os problemas são principalmente devido à formação de grandes cristais, que ocorrem quando um número suficiente de cristais for formado, causando arenosidade (Chaves, 2011; Ordóñez et al., 2005; Tronco, 2010).

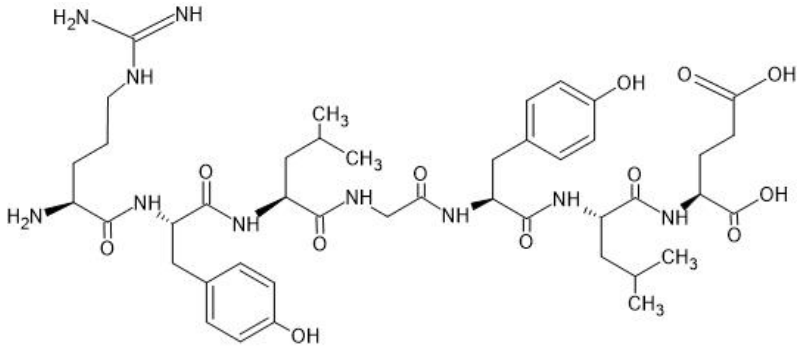
Figura 3 - Estrutura química da lactose.



Fonte: Autores (2021)

Os componentes nitrogenados são compostos pelos de natureza proteica (aproximadamente 95%) e pelos de origem não proteica (aproximadamente 5%). O nitrogênio não proteico é constituído por uréia, ácido úrico, creatina e aminoácidos. Os componentes nitrogenados mais importantes do leite são as proteínas (Silva & Perrone, 2011). As proteínas do leite são subdivididas em caseína (80 %) e proteínas do soro (20 %). A caseína define-se como a substância coloidal complexa, associada ao cálcio e ao fósforo, podendo ser coagulada por ação de ácidos, coalho (quimosina) e/ou álcool. Trata-se, portanto, de um grupo de fosfoproteínas específicas que apresentam baixa solubilidade no pH de 4,6. É formada por várias submicelas α_{s1}, α_{s2}, β e κ, mantidas unidas por interações hidrofóbicas e pontes salinas, apresentando um comportamento distinto frente ao cálcio: as frações α e β são sensíveis, enquanto a fração κ é insensível ao cálcio. Tal comportamento explica a ação estabilizadora da κ-caseína, que protege as frações α e β em relação ao cálcio, efeito que desaparece se as duas partes da molécula se separam por ação da quimosina (Tronco, 2010). A Figura 4 representa a estrutura da caseína.

Figura 4 - Estrutura química da caseína.



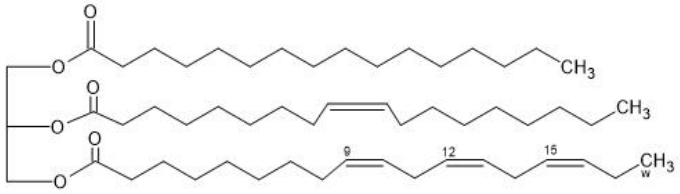
Fonte: Autores (2021)

É possível encontrar também a γ-caseína, originada pela hidrólise da β-caseína pela plasmina (protease endógena do leite). Cerca de 20 % das proteínas do leite são constituídas pelas proteínas do soro. Apresentam excelente valor nutritivo (excelente composição em aminoácidos, alta digestibilidade e biodisponibilidade de aminoácidos) e também excepcional propriedades funcionais (solubilidade, formação e estabilidade de espuma, emulsificação, geleificação, formação de filmes e cápsulas protetoras). No leite de vaca a mais abundante é a β-lactoglobulina, que corresponde a 9,5 % do nitrogênio total (NT) do leite e 50 % das proteínas do soro, seguido da α-lactoalbumina, 3,5 % do NT e 20 % das proteínas do soro, as imunoglobulinas 2% e a soroalbumina bovina 1 %. Além dessas há também diversas espécies proteicas encontradas em pequenas quantidades (Chaves, 2011; Ordóñez et al., 2005).

A gordura é o componente mais variável, e sua concentração varia de 2,5 a 6,0 %. A gordura encontra-se dispersa no leite em forma de glóbulos esféricos, com diâmetro de 0,1 a 15 µm. Os glóbulos são constituídos de um núcleo central que contém a gordura, envolvidos por uma película de natureza lipoprotéica conhecida com o nome de membrana.

Aproximadamente 98,3 % dos lipídeos do leite estão na forma de triacilgliceróis (também chamado de triglicerídeo) (compostos por três ácidos graxos esterificados ao glicerol). A estrutura de um triglicerídeo encontrado no leite está representada na Figura 5. Outras classes de lipídeos incluem fosfolipídeos (0,8 %), principalmente associados à membrana do glóbulo de gordura, e o colesterol (0,3 %), encontrado no centro do glóbulo. Os principais ácidos graxos encontrados no leite são: ácido mirístico (C14), palmítico (C16), esteárico (C18), oleico (C18:1); e os de cadeia curta: butírico (C4), caproico (C6), caprílico (C8) e cáprico (C10) (Chaves, 2011).

Figura 5 - Estrutura química do triglicerídeo.



Fonte: Autores (2021)

Os componentes minerais majoritários são: cálcio; magnésio; fosfatos, cloro, fósforo, citratos, cloretos, sulfatos e bicarbonatos de sódio e potássio. O conteúdo total de sais é constante, em torno de 0,7 a 0,8 % do leite em peso úmido. Acrescenta-se a essa quantidade os pouco menos de 0,2g/100 mL de sais orgânicos. Cerca de dois terços do cálcio e um pouco mais da metade do fósforo do leite encontram-se em suspensão coloidal, formando o fosfato de cálcio coloidal, o qual tem o papel de manter unidas as submicelas de caseína (Ordóñez et al., 2005).

O leite contém diversas vitaminas, classificadas em lipossolúveis (A, D, E e K) e hidrossolúveis (B e C), todas suscetíveis à destruição por diversos fatores: tratamentos térmicos, ação da luz, oxidações etc. (Tronco, 2010).

O leite contém várias enzimas endógenas de elevada especificidade, que atuam como catalisadores bioquímicos, provocando importantes modificações. Além das enzimas naturalmente presentes, o leite pode apresentar enzimas exógenas, como lipases e proteases termoestáveis, produzidas por bactérias psicrotróficas. Das enzimas endógenas, merece destaque: lipase, plasmina, fosfatase alcalina e a peroxidase (lactoperoxidase). A lipase é responsável pela hidrólise da gordura do leite, no entanto, a gordura do leite está protegida de sua ação pela membrana do glóbulo de gordura, porém se a membrana for danificada, a lipase pode hidrolisar a gordura, liberando ácido butírico, capróico e caprílico, ácidos graxos de baixo peso molecular e com odor de ranço. No entanto, a lipase é uma enzima termolábil, sendo desnaturada com o processo de pasteurização. A protease alcalina ou plasmina é uma proteína de atividade semelhante à tripsina. Sua atividade recai fundamentalmente sobre as caseínas β e α_{s2}. A hidrólise que provoca na β-caseína dá origem às γ-caseínas. A ação da plasmina pode causar graves defeitos nos produtos lácteos submetidos a tratamentos UHT (sabor

amargo e mudanças na viscosidade). Sua sobrevivência durante o processamento do leite e na cura dos queijos poderá ser de importância para a estabilidade e a qualidade do produto (Chaves 2011; Koblitz, 2010).

De maior interesse na prática rotineira de indústrias estão a fosfatase alcalina e a peroxidase, amplamente utilizadas para controlar o grau de aquecimento do leite. A fosfatase é utilizada para controlar o processo de pasteurização. A enzima é desnaturada pelo calor no processo de pasteurização (72-75°C/15s ou 62-65°C/30min). A presença desta enzima em uma amostra de leite pasteurizado constitui indicativo de que o leite não sofreu tratamento térmico adequado, podendo ter ocorrido mistura ou recontaminação com leite cru. A peroxidase controla o sistema de pasteurização a uma temperatura de 85-90°C/20s. A pesquisa desta enzima fornece informações sobre a temperatura máxima do processo, que ultrapassando a temperatura de pasteurização inativa esta enzima e promove alterações nas características sensoriais e nutricionais do leite, portanto, sua ação deve permanecer após o processo, caso haja ausência desta enzima é indicativo de superaquecimento do leite. O superaquecimento pode ser utilizado propositalmente pela indústria para diminuir a carga microbiana de um leite obtido em más condições de higiene e armazenamento (Beloti, 2015; Tronco, 2010).

3. Estabelecimentos de leite e derivados

Na Tabela 3 estão apresentadas as definições dos diferentes estabelecimentos para produção ou recepção, pré-beneficiamento e/ou beneficiamento do leite, conforme preconiza o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA).

Tabela 3 – Estabelecimentos permitidos para processamento do leite segundo RIISPOA

Estabelecimento	Definição
Granja leiteira	"estabelecimento destinado à produção, ao pré -beneficiamento, ao beneficiamento, ao envase, ao acondicionamento, à rotulagem, à armazenagem e à expedição de leite para o consumo humano direto, podendo também elaborar derivados lácteos a partir de leite exclusivo de sua produção, envolvendo as etapas de pré -beneficiamento, beneficiamento, manipulação, fabricação, maturação, ralação, fracionamento, acondicionamento, rotulagem, armaz enagem e expedição."
Posto de refrigeração	"estabelecimento intermediário entre as propriedades rurais e as unidades de beneficiamento de leite e derivados destinado à seleção, à recepção, à mensuração de peso ou volume, à filtração, à refrigeração, ao acondicionamento e à expedição de leite cru re frigerado, facultada a estocagem temporária do leite até sua expedição. "

Continua

Continuação

Estabelecimento	Definição
Unidade de beneficiamento de leite e derivados	"estabelecimento destinado à recepção, ao pré -beneficiamento, ao beneficiamento, ao envase, ao acondicionamento, à rotulagem, à armazenagem e à expedição de leite para o consumo humano direto, facultada a transferência, a manipulação, a fabricação, a matur ação, o fracionamento, a ralação, o acondicionamento, a rotulagem, a armazenagem e a expedição de derivados lácteos, permitida também a expedição de leite fluido a granel de uso industrial."
Queijaria	"o estabelecimento destinado à fabricação de queijos, que envolva as etapas de fabricação, maturação, acondicionamento, rotulagem, armazenagem e expedição, e que, caso não realize o processamento completo do queijo, encaminhe o produto a uma unidade de beneficiamento de leite e derivados."

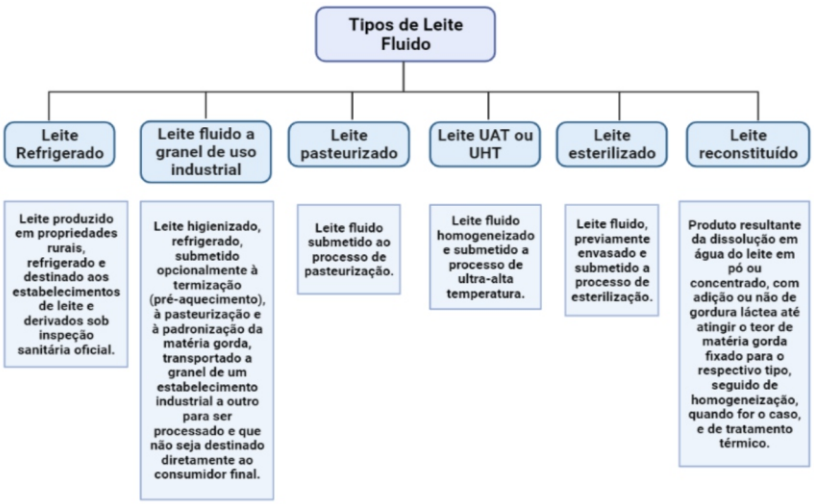
Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

4. Diferentes tipos de leite fluido

Segundo o RIISPOA, é permitida a produção dos seguintes tipos de leites fluidos: leite cru refrigerado; leite fluido a granel de uso industrial; leite pasteurizado; leite submetido ao processo de ultra-alta temperatura UAT ou UHT; leite esterilizado e leite reconstituído. Sendo que, para consumo humano direto, são permitidos apenas o leite pasteurizado, UHT, esterilizado e reconstituído (Brasil, 2020).

Dentre estes leites de consumo, recebe destaque o leite pasteurizado e o leite longa vida ou UHT (*ultra high temperature*). Nos últimos anos, houve uma diminuição no consumo de leite pasteurizado e crescimento considerável no consumo de leite UHT, que pode ser armazenado à temperatura ambiente. Na Figura 6 estão apresentados os diferentes tipos de leites fluidos permitidos pela legislação vigente.

Figura 6 – Tipos de leite fluido permitidos pela legislação.



Fonte: Adaptado de Brasil (2020).

4.1. Leite cru refrigerado

O Leite cru refrigerado é o leite produzido em propriedades rurais, refrigerado e destinado aos estabelecimentos de leite e derivados sob inspeção sanitária oficial (Brasil, 2020, Brasil, 2018b).

Os procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial atualmente são estabelecidos pela Instrução Normativa nº 77, de 26 de novembro de 2018 (BRASIL, 2018a). A Instrução Normativa nº 76 de 26 de novembro de 2018, traz o regulamento de identidade e qualidade para o leite cru refrigerado, onde estabelece os parâmetros físico-químicos e microbiológicos (BRASIL, 2018b).

Tabela 4 - Requisitos físico-químicos e microbiológicos para o leite cru refrigerado.

Item de composição	Requisito
Gordura (% m/m)	mínimo 3,0
Proteína total (% m/m)	mínimo 2,9
Lactose (% m/m)	mínimo 4,3
Sólidos não gordurosos(% m/m)	mínimo 8,4
Sólidos totais (% m/m)	mínimo 11,4
Acidez titulável (g de ácido lático⁄100mL)	0,14 a 0,18
Estabilidade ao alizarol 72% (v/v)	Estável
Densidade relativa a 15ºC	1,028 a 1,034
Índice crioscópico	-0,530 ºH a – 0,555 ºH (equivalentes a -0,512 ºC e a -0,536 ºC)
Contagem padrão em placas (UFC/mL)	máximo 300.000
Contagem de células somáticas (CS/mL)	máximo 500.000

Fonte: Adaptado da Instrução Normativa nº 76 de 26/11/2018 (Brasil, 2018b).

4.2. Leite fluido a granel de uso industrial

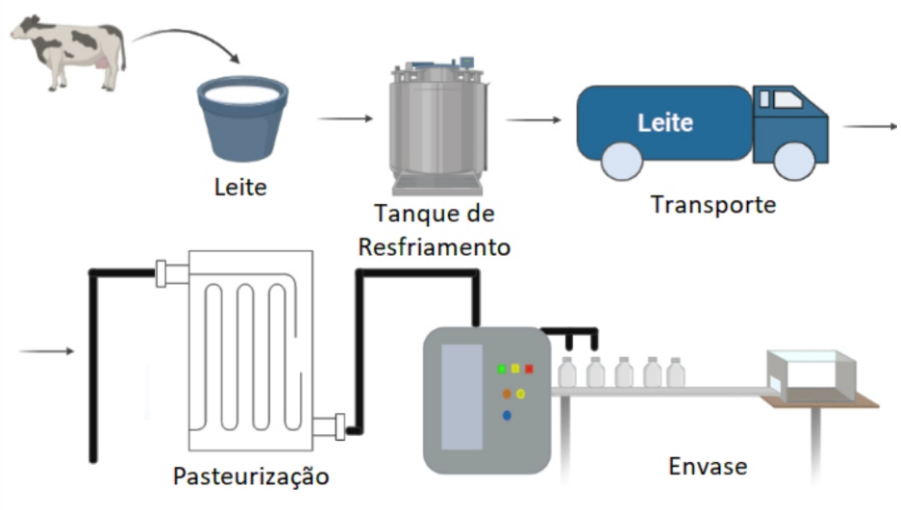
O Leite fluido a granel de uso industrial é o leite higienizado, refrigerado, submetido opcionalmente à termização (pré-aquecimento), à pasteurização e à padronização da matéria gorda, transportado a granel de um estabelecimento industrial a outro para ser processado e que não seja destinado diretamente ao consumidor final. O transporte deste leite deve ser realizado em veículos isotérmicos lacrados e etiquetados, acompanhados de boletim de análises, sob responsabilidade do estabelecimento de origem (Brasil, 2020).

4.3. Leite pasteurizado

Atualmente são comercializados dois tipos de leite pasteurizado: leite pasteurizado e leite pasteurizado tipo A.

O leite pasteurizado é o leite fluido submetido a um dos processos de pasteurização previstos na legislação vigente, envasado automaticamente em circuito fechado e destinado a consumo humano direto (Figura 7) (Brasil, 2018b).

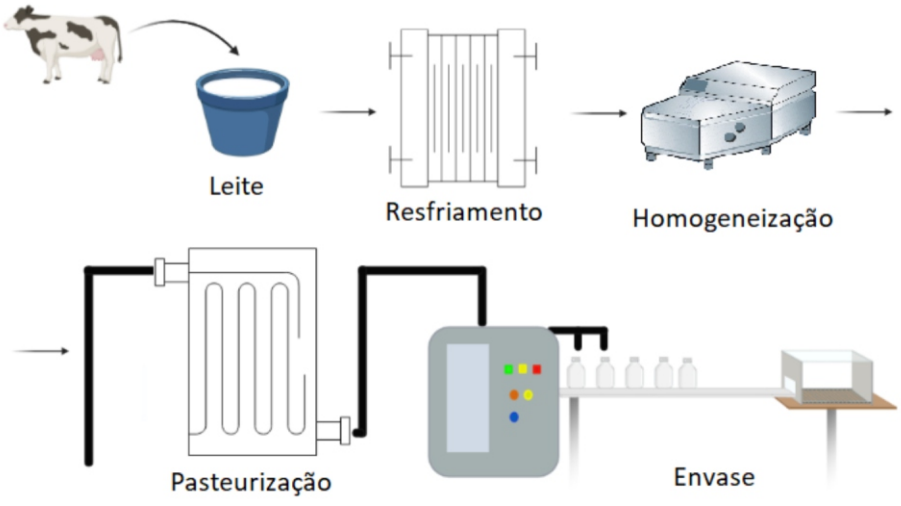
Figura 7 – Processo de produção de leite pasteurizado



Fonte: Autores (2021)

Já o leite pasteurizado tipo A é o leite fluido, produzido, pasteurizado e envasado exclusivamente em Granja Leiteira. A homogeneização é uma etapa obrigatória para o leite pasteurizado tipo A integral e semidesnatado (Figura 8) (Brasil, 2018b).

Figura 8 - Processo de produção de leite pasteurizado tipo A



Fonte: Autores (2021)

A finalidade principal da pasteurização é a eliminação de microrganismos patogênicos presentes, tendo como parâmetro a combinação de tempos e temperaturas suficientes para eliminar o patógeno não esporulado mais termorresistente ao calor, conhecido como *Coxiella burnetii* (Beloti, 2015).

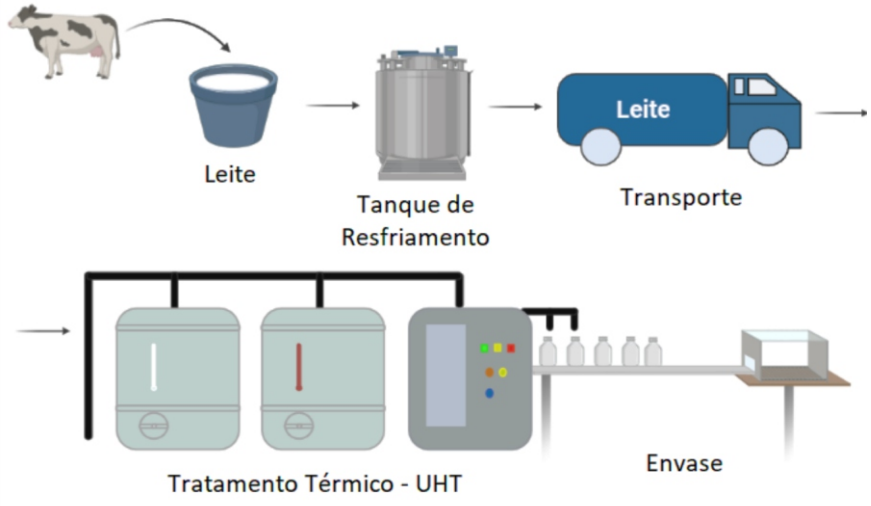
No Brasil há dois tipos de pasteurização permitidos para leite, a pasteurização rápida e a lenta. Mais detalhes sobre o processo de pasteurização estão apresentados no tópico pasteurização (tópico 5.2.1).

A Instrução Normativa nº 76/2018 do MAPA traz os aspectos regulatórios para o leite pasteurizado e leite pasteurizado tipo A no Brasil, estabelecendo a classificação e os requisitos físico-químicos e microbiológicos para o produto, conforme demonstrado na Tabela 5 do item Pasteurização.

4.4. Leite submetido ao processo de ultra-alta temperatura – UAT ou UHT

Leite UAT (Ultra Alta Temperatura) ou UHT (*Ultra High Temperature*) é o leite homogeneizado que foi submetido, durante 2 a 4 segundos, entre 130 °C e 150 °C, mediante um processo térmico de fluxo contínuo, imediatamente resfriado a uma temperatura inferior a 32 °C e envasado sob condições assépticas em embalagens estéreis e hermeticamente fechadas (Figura 9) (Brasil, 1996; Brasil, 2020).

Figura 9 - Processo de produção de leite UHT



Fonte: Autores (2021)

A finalidade do processamento UHT é oferecer ao consumidor um produto comercialmente estéril (Silva et al., 2017). No tópico tratamento UHT são discutidos os sistemas de processamento UHT e demais conceitos que envolvem este processamento.

Os aspectos regulatórios para o leite UHT são apresentados na Portaria nº146/1996 do MAPA, conforme Tabela 6.

5.5. Leite esterilizado

O leite esterilizado é o leite fluido, previamente envasado e submetido a processo de esterilização (Brasil, 2020).

O termo esterilizado não implica necessariamente que o produto seja estéril em um sentido microbiológico estrito. Dada a natureza logarítmica da destruição dos microrganismos pelo calor, é mais correto falar de esterilidade comercial. Portanto, a esterilização do leite e os processos UHT perseguem o mesmo objetivo: a obtenção de um produto microbiologicamente estável mediante a destruição dos microrganismos mais termorresistentes, ou seja, as formas esporuladas das bactérias (Ordóñez et al., 2005).

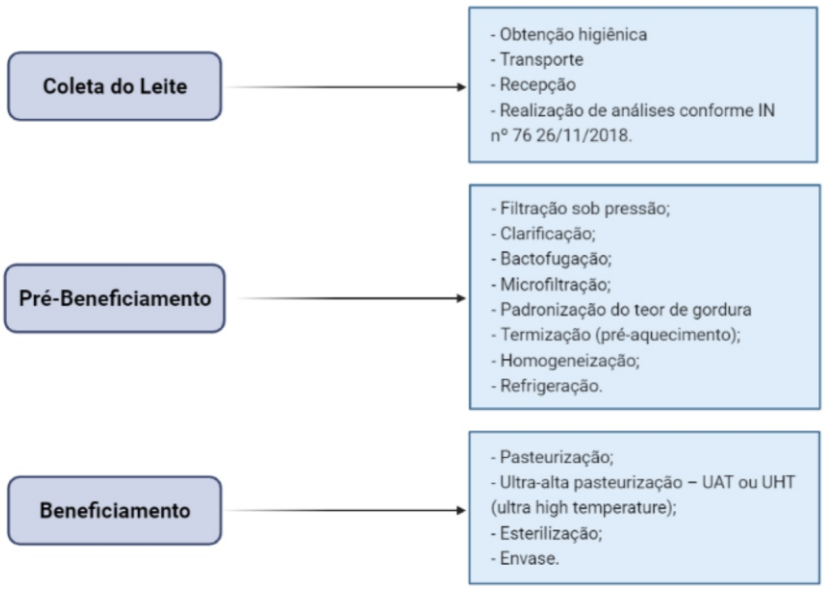
5.6 Leite reconstituído

O leite reconstituído é o produto resultante da dissolução em água do leite em pó ou concentrado, com adição ou não de gordura láctea até atingir o teor de matéria gorda fixado para o respectivo tipo, seguido de homogeneização, quando for o caso, e de tratamento térmico (Brasil, 2020).

6. Conceitos e operações do processamento de leite

O processamento do leite após a seleção e a recepção em qualquer estabelecimento compreende as etapas de pré-beneficiamento e beneficiamento, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Principais etapas do pré-beneficiamento e beneficiamento do leite.



Fonte: Autores (2021)



5.1. Operações de pré-beneficiamento do leite

5.1.1.Filtração sob pressão

A filtração consiste na retirada das impurezas do leite por processo mecânico, mediante passagem sob pressão por material filtrante apropriado, sendo uma etapa obrigatória, ou seja, todo leite destinado ao processamento industrial deve ser submetido à filtração antes de qualquer operação de pré-beneficiamento ou beneficiamento (Brasil, 2020).A filtração do leite consiste em passá-lo por um filtro com tamanho de poro entre 25 e 100 mm, para que as impurezas grosseiras fiquem retidas, não sendo capaz de remover microrganismos (Chaves et al., 2017).

5.1.2.Clarificação

A Clarificação é uma etapa obrigatória para os leites destinados ao consumo direto (leite pasteurizado, UHT, esterilizado e reconstituído) e consiste na retirada das impurezas do leite por processo mecânico, mediante centrifugação ou outro processo tecnológico equivalente, aprovado pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Brasil, 2020).

As clarificadoras são usadas para remover impurezas sólidas, especialmente leucócitos, células bacterianas e esporos, de leite integral (geralmente cru). As clarificadoras operam em taxas de transferência mais altas que os separadores de gordura, e em baixas (<8 °C) ou altas temperaturas (50-60 °C). As temperaturas mais baixas resultam em menor perda de proteína do leite, enquanto as temperaturas mais altas resultam em uma maior redução na contagem microbiana total e permite a completa remoção de cabelo e outras fibras, que são comuns contaminantes do leite. A faixa de temperatura ideal é 50–55 °C. Como uma clarificadora tem apenas uma saída e o fluxo na tigela é de fora da pilha de discos para dentro, nenhuma separação de glóbulos de gordura ocorre (McCarthy, 2011).

5.1.3.Bactofugação

A bactofugação é uma etapa opcional no processamento de leite, porém dentre as tecnologias de separação físicas empregadas para reduzir o número de microrganismos, a bactofugação tem ganhado importância.

Esta tecnologia consiste na remoção das bactérias e esporos do leite por meio de diferença de densidade (1,2 g mL-1 no caso dos microrganismos e aproximadamente 1,03 g mL-1 para o leite). A operação é realizada a 60°C. A eficiência na redução de esporos depende das condições de bactofugação, esse processo é capaz de reduzir 75 a 95 % de esporos de *Clostridium*, 90% de bactérias propiônicas, 52 % de bactérias mesófilas e 88 % de coliformes. Uma eficiência de 99,9% pode ser obtida quando se procede a uma dupla centrifugação (Van Dender et al., 2014).

5.1.4.Microfiltração

O processo utiliza membranas porosas com diâmetro acima de 0,1 μm permitindo a retenção de partículas do leite (células somáticas, glóbulos de gordura, bactérias e micelas de caseína). As pressões empregadas como força motriz são pequenas e dificilmente ultrapassam 3 bar, já que utilizam membranas com poros maiores (Carvalho & Maubois, 2010, Habert, 2006).

A microfiltração seguida de pasteurização é uma tecnologia já aplicada em vários países da Europa, nos Estados Unidos, Canadá e Austrália, para estender a vida útil do leite pasteurizado (Maubois, 2002, Pouliot, 2008).

5.1.5.Padronização do teor de gordura

A padronização do teor de gordura do leite é necessária para atender os requisitos legais. Para o leite fluido pasteurizado e UHT, a legislação os classifica em integral (mínimo 3 % de gordura), semidesnatado (0,6 a 2,9 %) e desnatado (máximo de 0,5 %) (Brasil 2018, Brasil, 1997).

Para a padronização do teor de gordura é feita a separação de leite integral em creme e leite desnatado, através de separadores de gordura (separadores centrífugos) (McCarthy, 2011).

O objetivo da padronização é produzir creme com teor de lipídeos definido. Atualmente a padronização em linha é, em geral, combinada com a separação. O equipamento que faz a padronização monitora automaticamente e controla o teor de gordura do creme (através de medição de densidade). Parte do fluxo de creme e o fluxo de leite desnatado são misturados (por meio de controle de taxa de fluxo usando medições em linha de taxas de fluxo de creme e leite desnatado) em proporções que resultam em um leite com o padrão de gordura desejado. O excesso de creme deixa o sistema como creme padronizado (Smiddy, Kelly, & Huppertz, 2009; McCarthy, 2011).

Os glóbulos de gordura menores que 1 μm não são separados e são transportados junto com a corrente de leite desnatado. O teor de gordura remanescente no leite desnatado fica em torno de 0,04% e 0,07% (Tetra Pak, 2015).

5.1.6.Termização

A termização consiste em um tratamento térmico de sub-pasteurização do leite realizado a 62-68 °C em um trocador de calor a placas projetado para a pasteurização do leite usando um tempo de retenção de 15 segundos. Quando o armazenamento refrigerado de leite cru se tornou uma prática difundida, a termização foi desenvolvida para estender a qualidade do leite cru. O leite termizado e prontamente resfriado pode ser resfriado por mais 3 dias, porque a termização reduz acentuadamente a contagem de bactérias psicrotróficas,

sensíveis ao calor, responsável pela deterioração a baixas temperaturas (deterioração sem acidificação) (Rukke, Sørhaug, & Stepaniak, 2011).

5.1.7.Homogeneização

A gordura presente no leite está presente em glóbulos que variam de menos de 1 µm a mais de 10 µm de tamanho. Os glóbulos maiores tenderão a subir, seguindo a Lei de Stokes, e criarão uma camada de creme. Este efeito pode ser evitado reduzindo o tamanho dos glóbulos de gordura em equipamento denominado de homogeneizador (Wilbey, 2011).

O homogeneizador de alta pressão é o equipamento mais comumente usado na indústria de lácteos, emprega alta pressão gerada por uma bomba de pistão triplex para fornecer a força necessária para acionar o leite, creme ou outro líquido através de uma restrição ajustável conhecida como válvula homogeneizadora. Quando o líquido é bombeado através de um pequeno orifício ajustável (até 300 µm) entre a válvula e seu suporte, a alta pressão produz uma velocidade no líquido (80 a 150 m s^{-1}). Quando o líquido emerge da válvula, ocorre uma queda quase que instantânea na velocidade. Essas condições extremas de turbulência produzem forças de cisalhamento muito fortes, e as partículas na fase dispersa rompem-se. As pressões usadas para produtos lácteos são geralmente de até 30 MPa, embora algumas novas aplicações possam usar pressões de até 400 MPa (Fellows, 2018; Wilbey, 2011).

O estado físico e a concentração da fase gordurosa contribuem de forma decisiva no processo de homogeneização. Se conduzido com o leite frio, condição que, em geral, a gordura está no estado sólido, o processo é ineficaz. A alta pressão causa formação de glóbulos de gordura menores e a dispersão da fase lipídica aumenta com a elevação da temperatura de homogeneização e, além disso, o processo é facilitado com a diminuição da viscosidade do leite a temperaturas mais altas. A temperatura de homogeneização aplicada varia entre 60 ºC e 70 ºC. A operação de homogeneização pode ser realizada em homogeneizador de simples ou de duplo estágio. No sistema de duplo estágio, o leite é forçado a passar por uma segunda válvula, o que evita o reagrupamento dos glóbulos e consegue-se ter uma emulsão mais estável, conforme mencionado no parágrafo anterior (Tetra Pak, 2015).

Durante o processo de homogeneização ocorre uma ruptura da membrana nativa do glóbulo de gordura e a formação de uma nova camada, constituída por agregados de micelas de caseína. No entanto, pode ocorrer uma distribuição inadequada da caseína, o que causa uma aglomeração dos glóbulos de gordura. Uma segunda válvula (estágio) é então utilizada para quebrar estes grumos (Huppertz, Kelly, & Fox, 2009).

5.1.8.Resfriamento

A refrigeração do leite recém-ordenhado foi introduzida no Brasil na segunda metade da década de 90 com o objetivo de reduzir a deterioração por microrganismos mesófilos, sendo hoje regulamentado pela Instrução Normativa nº 76 do Ministério da Agricultura, Pecuária

e Abastecimento (Brasil, 2018). No entanto, o armazenamento refrigerado do leite em postos de refrigeração, usinas de beneficiamento ou fábricas de laticínios na temperatura de 4ºC não previne a multiplicação de bactérias psicrotróficas, as quais crescem em temperaturas entre 0 ºC e 7 ºC (Jay, 2005).

As bactérias psicrotróficas são termolábeis, por isso, sua taxa sempre se reduz a valores estatisticamente desprezíveis durante os tratamentos de pasteurização HTST. Contudo, as proteases e lipases extracelulares produzidas por algumas cepas, particularmente *Pseudomonas*, são verdadeiramente termorresistentes, não sendo destruídas totalmente nem mesmo com os tratamentos térmicos utilizados na esterilização (Ordóñez et al., 2005).

As proteases termorresistentes hidrolisam a caseína, o que está associado à ocorrência de problemas tecnológicos em produtos de vida útil longa, como a gelificação e a sedimentação do leite UHT, além de sabores indesejáveis em produtos derivados e redução do rendimento na fabricação de queijos (Cardoso, 2006; Vesconsi, Valduga, & Cichoski, 2012).

A lipólise indesejável do leite e produtos lácteos não tem sido estudada tanto quanto a proteólise indesejável. Lipases exógenas produzidas por bactérias psicrotróficas podem hidrolisar a gordura do leite e liberar ácidos graxos livres, mono- e di-acilgliceróis e glicerol. A atividade lipolítica dos psicrotróficos é específica da espécie. A atividade lipolítica gera sabores de produtos indesejáveis, como rançoso, impuro, como sabão ou amargo, tornando o produto pouco aceitável para o consumidor (Deeth, 2011).

As repercussões da presença de bactérias psicrotróficas constituem, portanto, um problema para a indústria láctea atual. Assim deve-se associar a refrigeração às boas práticas de ordenha, nestas condições a refrigeração ganha importância e eficiência, realmente controlando o crescimento microbiano (Beloti, 2015). O emprego da termização constitui também uma operação importante no combate às bactérias psicrotróficas no leite refrigerado antes do seu beneficiamento, conforme discutido no item termização.

5.2. Operações de beneficiamento do leite

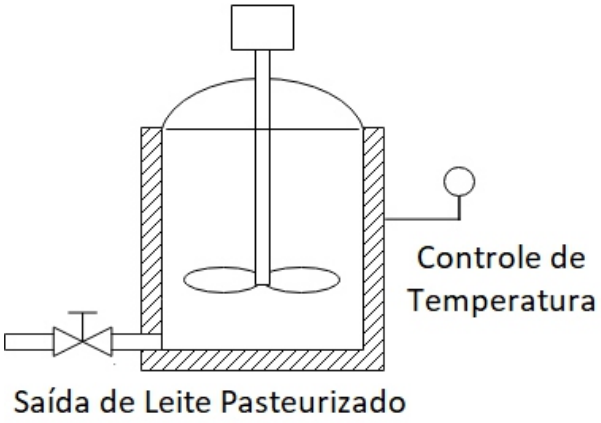
5.2.1.Pasteurização

No Brasil são permitidos dois processos de pasteurização do leite:

- Pasteurização lenta, conhecida como LTLT (*Low Temperature Long Time*), que consiste no aquecimento indireto do leite entre 63 ºC (sessenta e três graus Celsius) e 65 ºC (sessenta e cinco graus Celsius) pelo período de trinta minutos, mantendo-se o leite sob agitação mecânica, lenta, em aparelhagem própria (Brasil, 2017), que consiste de um tanque encamisado que circula o fluido calefator e o refrigerador (Figura 11). O leite aquecido é mantido na temperatura de pasteurização pelo tempo necessário, podendo

em seguida ser resfriado no próprio tanque ou transferido após o tempo de retenção. Este processo, por ser um método descontínuo, é viável apenas para pequenos volumes de leite, sendo mais utilizado em queijarias artesanais e no processamento de leite de cabra. Por ser um processo descontínuo e demorado, demanda alto consumo energético. Contudo, apresenta vantagens na fabricação de queijos, por afetar menos as características do leite e não reduzir o rendimento de fabricação destes produtos (Corassin et al., 2017; Tadini, 2009; Tronco, 2010).

Figura 11 – Tanque encamisado para pasteurização lenta do leite.

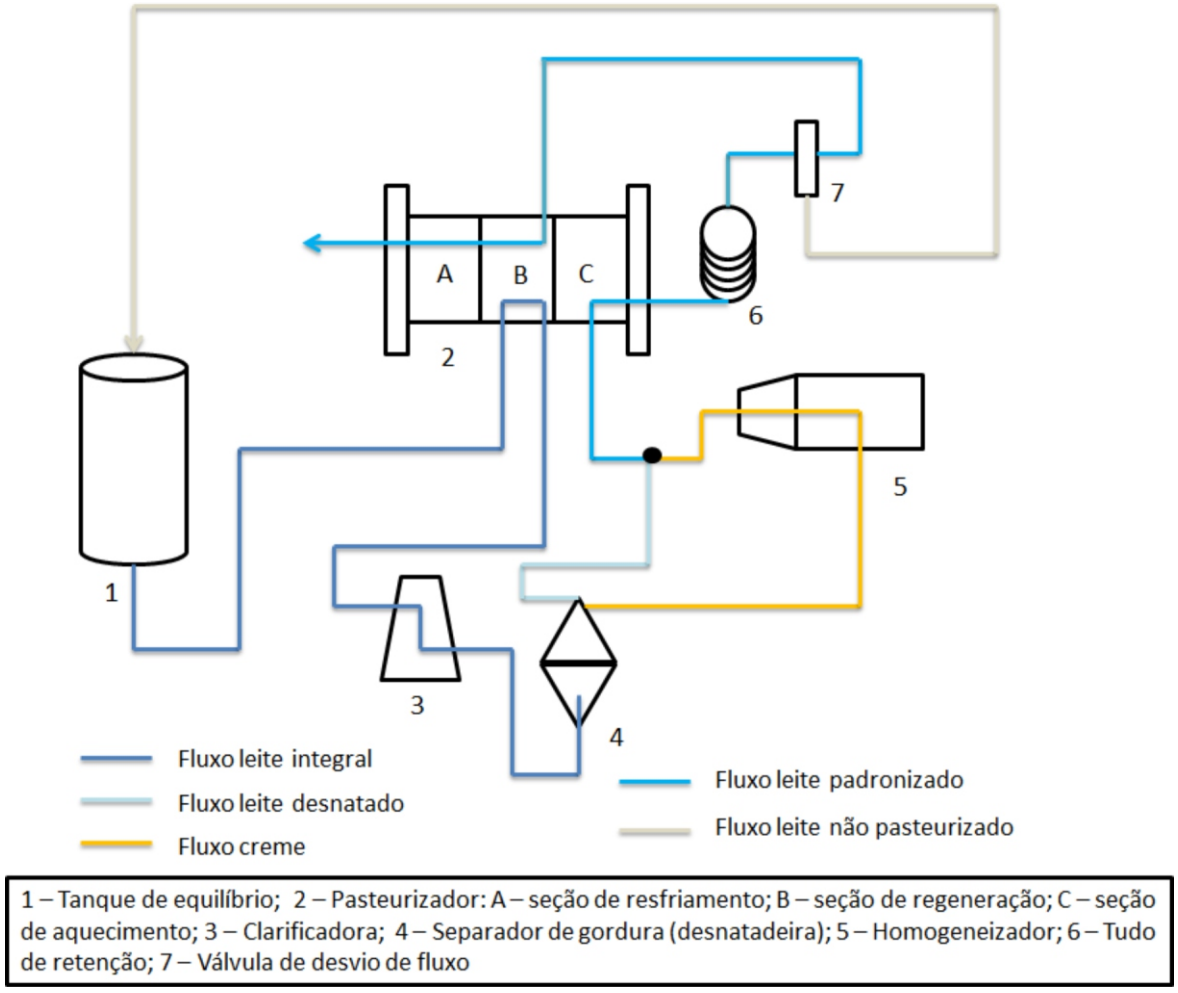


Fonte: Autores (2021)

- Pasteurização rápida, conhecida como HTST (*High Temperature Long Time*), que consiste no aquecimento do leite em camada laminar entre 72 °C (setenta e dois graus Celsius) e 75 °C (setenta e cinco graus Celsius) pelo período de quinze a vinte segundos, em aparelhagem própria (Brasil, 2020). A Figura 12 apresenta o desenho esquemático do processo de pasteurização HTST. Nesse sistema de pasteurização, o leite cru frio é alimentado de um silo para um tanque de equilíbrio e bombeado a uma taxa constante para a seção de pré-aquecimento ou regeneração do pasteurizador, onde é aquecido a 68–70 °C, pela troca de calor indiretamente com o leite já pasteurizado e o leite pasteurizado é resfriado a cerca de 10 °C. O uso de leite pasteurizado como meio de aquecimento para a entrada de leite cru frio resulta em substancial economia de energia. Na seção de regeneração, quando o leite estiver em torno de 50-55 °C, pode ser desviado para pré-tratamentos como separação de gordura, clarificação ou homogeneização. Assim, o leite é normalmente encaminhado para fora do pasteurizador entre as seções de regeneração para os pré-tratamentos antes de retornar ao pasteurizador para a seção de aquecimento para a conclusão do ciclo de pasteurização. A pasteurização correta requer que o leite seja retido por um tempo especificado na temperatura de pasteurização definida. Isso pode ser alcançado em uma seção específica (seção de retenção) ou em um tubo de retenção externo. Um termômetro de resistência monitora a temperatura do leite, geralmente no ponto de saída da seção de espera. A função do termistor é prevenir que o leite não pasteurizado vá para a unidade de embalagem. Através de uma válvula de desvio de fluxo, o leite é devolvido ao tanque de equilíbrio se a temperatura determinada pelo termistor estiver abaixo da temperatura de pasteurização. Caso atinja a temperatura de pasteurização, ao invés de ir para a seção de resfriamento, o leite

pasteurizado retorna para a seção de regeneração, onde troca calor com o leite frio que está entrando, seguindo para a seção de resfriamento onde é resfriado para ser envasado (Kelly & O'Shea, 2011).

Figura 12 – Desenho esquemático do processo de pasteurização HTST



Fonte: Adaptado Tetra Pak (2015).

A utilização correta do binômio tempo e temperatura tem dois objetivos básicos: a destruição da microbiota patogênica, sendo a *Coxiella burnetti* o microrganismo não esporulado de referência, por ser o de maior termorresistência e; inviabilizar a maior parte das células vegetativas de bactérias normalmente presentes no leite cru, mas sem alterar suas propriedades ou características (Corassin et al., 2017; Prata, 2001; Tronco, 2010; Kelly & O'Shea, 2011).

Segundo a Instrução Normativa nº 76 de 2018 é possível a produção e comercialização de dois tipos de leite pasteurizado (Brasil, 2018):

- Leite pasteurizado: é o leite fluido submetido a um dos processos de pasteurização previstos na legislação vigente, envasado automaticamente em circuito fechado e destinado a consumo humano direto;

- Leite pasteurizado tipo A: é o leite fluido, produzido, beneficiado e envasado exclusivamente em Granja Leiteira, submetido a um dos processos de pasteurização previstos na legislação vigente e destinado ao consumo humano direto.

As diferenças entre os dois tipos de leite estão apresentadas na Tabela 5. De acordo com o teor de gordura, são classificados em leite integral, semidesnatado e desnatado.

Tabela 5 – Requisitos físico-químico e microbiológico para o leite pasteurizado e leite pasteurizado tipo A.

Item de composição	**Leite pasteurizado**			**Leite pasteurizado tipo A**		
Matéria-prima	O leite cru destinado à fabricação de leite pasteurizado: Contagem Padrão em Placas de no máximo 300.000 UFC/mL Contagem de Células Somáticas de no máximo 500.000 CS/mL			O leite cru destinado à fabricação de leite tipo A: Contagem Padrão em Placas de no máximo 10.000 UFC/mL Contagem de Células Somáticas de no máximo 400.000 CS/mL		
Gordura (% m/m)	Integral min.3,0	Semidesnatado 0,6 a 2,9	Desnatado max. 0,5	Integral min.3,0	Semidesnatado 0,6 a 2,9	Desnatado max. 0,5
Proteína total (% m/m)	min. 2,9			min. 2,9		
Lactose (% m/m)	min. 4,3			min. 4,3		
Sólidos não gordurosos (% m/m)	min. 8,4 (integral) SNG = 8,652 – (0,084 x Gordura) (demais)			min. 8,4 (integral) SNG = 8,652 – (0,084 x Gordura) (demais)		
Sólidos totais (% m/m)	min. 11,4			min. 11,4		
Acidez titulável (g de ácido lático/100mL)	0,14 a 0,18			0,14 a 0,18		
Estabilidade ao alizarol 72% (v/v)	Estável			Estável		
Densidade relativa a 15ºC	1,028 a 1,034			1,028 a 1,034		
Índice crioscópico	-0,530 ºH a – 0,555 ºH (equivalentes a -0,512 ºC e a -0,536 ºC)			-0,530 ºH a – 0,555 ºH (equivalentes a -0,512 ºC e a -0,536 ºC)		
Padrão enzimático	Fosfatase negativa Peroxidase positiva			Fosfatase negativa Peroxidase positiva		
Enterobactérias (UFC/mL)	n 5, c 2, m<1, M 5			n 5, c 2, m<1, M 5		

Fonte: Adaptado da Instrução Normativa nº76 de 26/11/2018 (BRASIL, 2018).

Conforme apresentado na Tabela 6, o padrão enzimático do leite pasteurizado compreende fosfatase negativa e peroxidase positiva. Estas enzimas endógenas do leite são utilizadas na prática rotineira da indústria para monitorar o processo de pasteurização. A fosfatase alcalina é ligeiramente mais resistente ao tratamento térmico do que as bactérias patogênicas sobre as quais os processos de pasteurização são validados. O processo de pasteurização deve diminuir a atividade desta enzima em torno de quinhentas vezes, comparado ao leite cru, para garantir que o processo de pasteurização (lenta ou rápida) seja efetivo. A peroxidase é uma das enzimas mais termorresistentes presentes no leite, mantém sua atividade total ou parcial em condições de pasteurização rápida (72-75 °C por 15 segundos). Perde sua atividade apenas acima de 80 °C por mais de 2,5 segundos e, por

isso, é empregada para monitorar se o leite foi tratado termicamente em temperatura acima da ideal (Justina, Justina, & Skoronski, 2018).

Devido ao fato do processo de pasteurização não destruir a totalidade dos microrganismos presentes no leite, possibilitando a sobrevivência de microrganismos deteriorantes, este deve ser armazenado sob refrigeração, sendo que, no Brasil, o leite pasteurizado apresenta uma vida útil média de cinco dias e o leite pasteurizado tipo A um prazo de validade médio de 10 dias. A eficácia do processo depende da carga microbiana inicial do leite cru (Corassin et al., 2017).

5.2.2.Processo de ultra-alta temperatura

O processo de ultra-alta temperatura UAT ou UHT (*Ultra-High Temperature*) consiste no tratamento térmico aplicado ao leite a uma temperatura entre 130 °C (cento e trinta graus Celsius) e 150 °C (cento e cinquenta graus Celsius), pelo período de dois a quatro segundos, mediante processo de fluxo contínuo, imediatamente resfriado a temperatura inferior a 32 °C (trinta e dois graus Celsius) e envasado sob condições assépticas em embalagens esterilizadas e hermeticamente fechadas (Brasil, 2020).

O processamento do leite UHT é uma tecnologia que visa oferecer ao consumidor um produto comercialmente estéril, com uma vida útil longa à temperatura ambiente, podendo apresentar um prazo de validade de 4 meses (Silva et al., 2017). O tratamento com leite a temperatura ultra alta (UHT) é um processo contínuo que visa produzir um produto "comercialmente estéril", ou seja, um produto no qual as bactérias não crescem sob as condições normais de armazenamento quando embaladas assepticamente (Deeth & Datta, 2011).O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) para leite UHT do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece os requisitos físico-químicos para o produto (Tabela 6), que segundo a regulamentação pode receber a denominação de leite UHT (UAT) integral, leite UHT (UAT) parcialmente desnatado ou semidesnatado e leite UHT (UAT) desnatado, segundo o tipo correspondente. As expressões Longa Vida e/ou Homogeneizado também podem ser adicionadas. Após a incubação da embalagem fechada por 7 dias, a 35°C – 37°C, nenhuma amostra deve apresentar-se com contagem de aeróbios mesófilos superior a 10^2 UFC/mL em um lote de 5 amostras (Brasil, 1996).

Tabela 6 – Requisitos físico-químicos para o leite UHT.

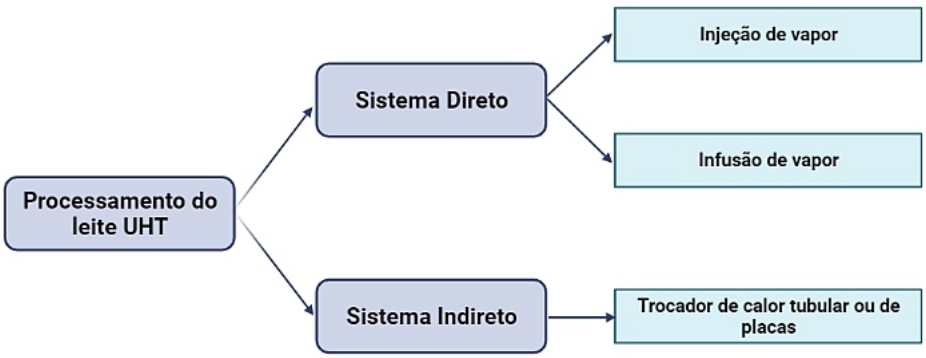
Requisitos	Leite integral	Leite semidesnatado	Leite desnatado
Matéria Gorda (% m/v)	mínimo 3,0	0,6 a 2,9	máximo de 0,5
Acidez g ac. lático/100 ml	0,14 a 0,18	0,14 a 0,18	0,14 a 0,18
Estabilidade ao etanol 68% (v/v)	Estável	Estável	Estável
Extrato seco desengordurado % (m/m)	mínimo 8.2	mínimo 8.3	mínimo 8.4

Fonte: Adaptado de Brasil (1996).

Uma particularidade do leite UHT é a permissão da adição de sais estabilizantes (citrato de sódio, monofosfato de sódio, difosfato de sódio, trifosfato de sódio, separados ou em combinação, em uma quantidade não superior a 0,1 g/100 ml expressos em P^2O^5) (Brasil, 1997). A função desses sais é melhorar a estabilidade das proteínas que, frente ao agressivo tratamento térmico, podem precipitar trazendo transtornos à indústria e problemas de aceitação pelo consumidor (Ordóñez et al., 2005).

O leite UHT ou ultrapasteurizado pode ser obtido por dois sistemas de aquecimento: direto ou indireto. No sistema indireto de aquecimento, a transmissão de calor ocorre através de trocadores de calor, já o sistema direto envolve a mistura do leite com vapores superaquecidos (Figura 13).

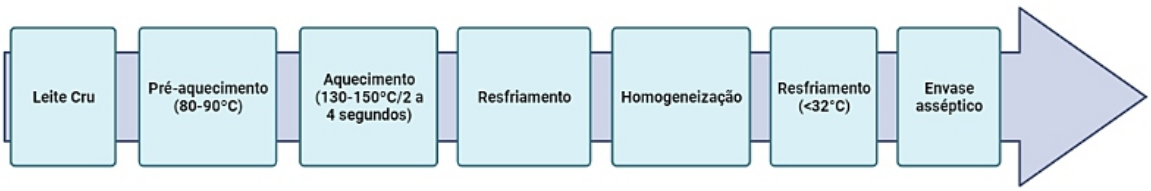
Figura 13 – Tipos de processamento de leite UHT



Fonte: Autores (2021).

No sistema de processamento indireto, o vapor é usado indiretamente através de trocadores de tubos ou placas para aquecer o leite. O homogeneizador pode estar situado antes ou após o aquecimento UHT. A homogeneização antes do aquecimento UHT tem a vantagem de não exigir que o homogeneizador seja asséptico. O aquecimento inicial é alcançado em uma seção de regeneração. Muitos sistemas indiretos incluem uma seção de retenção de pré-aquecimento (para estabilização das proteínas), na qual o leite é mantido a cerca de 90 °C por 30-60 s, antes de ser aquecido na seção de aquecimento a aproximadamente 140 °C. (Deeth & Datta, 2011). A Figura 14 ilustra as etapas do sistema indireto de processamento de leite UHT.

Figura 14 – Etapas do sistema indireto de processamento de leite UHT



Fonte: Autores (2021).

A principal característica do aquecimento direto é sua alta taxa de aquecimento e resfriamento em comparação com os sistemas indiretos. O sistema direto de processamento de leite UHT é dividido em dois tipos:

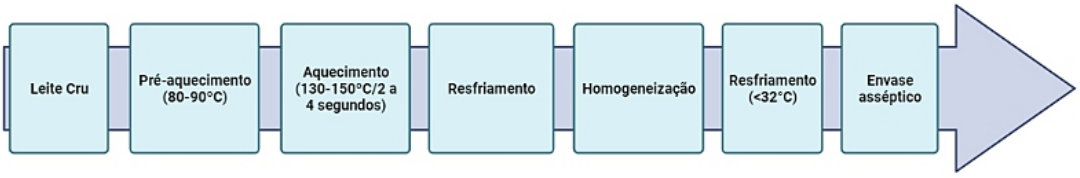
- Injeção de vapor – O leite é encaminhado para a seção de pré-aquecimento (80 °C). Uma seção de retenção no pré-aquecimento geralmente não é incluída neste método. Após o pré-aquecimento (80 °C), o produto chega ao injetor de vapor. O vapor injetado no produto eleva instantaneamente a temperatura do produto para cerca de 140 °C (a pressão de 4 bar evita que o produto ferva). O produto é mantido na temperatura de 140 °C no tubo de retenção por alguns segundos antes de ser rapidamente resfriado. Para o resfriamento, o produto entra em uma câmara de vácuo que cumpre o duplo papel de remover a água absorvida na etapa de aquecimento e resfria rapidamente o produto até aproximadamente a mesma temperatura que a do produto imediatamente antes da etapa de aquecimento (geralmente cerca de 70–80 °C). Após homogeneização, o produto é resfriado no trocador de calor e envasado em embalagens assépticas. A homogeneização é realizada após a sessão de alto calor em sistemas de aquecimento direto para quebrar grandes agregados de caseína que podem se formar no processo (Tetra Pak, 2015; Deeth & Datta, 2011)

- Infusão de vapor – o método de aquecimento e resfriamento é semelhante a injeção de vapor, diferem no contato do leite com o vapor, neste método o leite pré-aquecido se pulveriza em uma câmara passando por uma atmosfera de vapor. A temperatura eleva-se a 140 °C em frações de segundos (Tetra Pak, 2015).

A Figura 15 ilustra as etapas do sistema direto de processamento de leite UHT.

As etapas de pré-aquecimento e resfriamento são sempre realizadas em trocadores de calor indiretos, enquanto o aquecimento pode ser executado tanto pelo método direto quanto indireto. Portanto, a etapa de aquecimento é que determina o método utilizado: direto ou indireto (Silva et al., 2017).

Figura 15 – Etapas do sistema direto de processamento de leite UHT.



Fonte: Autores 2021.

6. Derivados lácteos

Segundo o Decreto nº 9.013 de 29/03/2017 que estabelece o padrão de identidade e qualidade de leite e derivados lácteos, os derivados lácteos são classificados em:

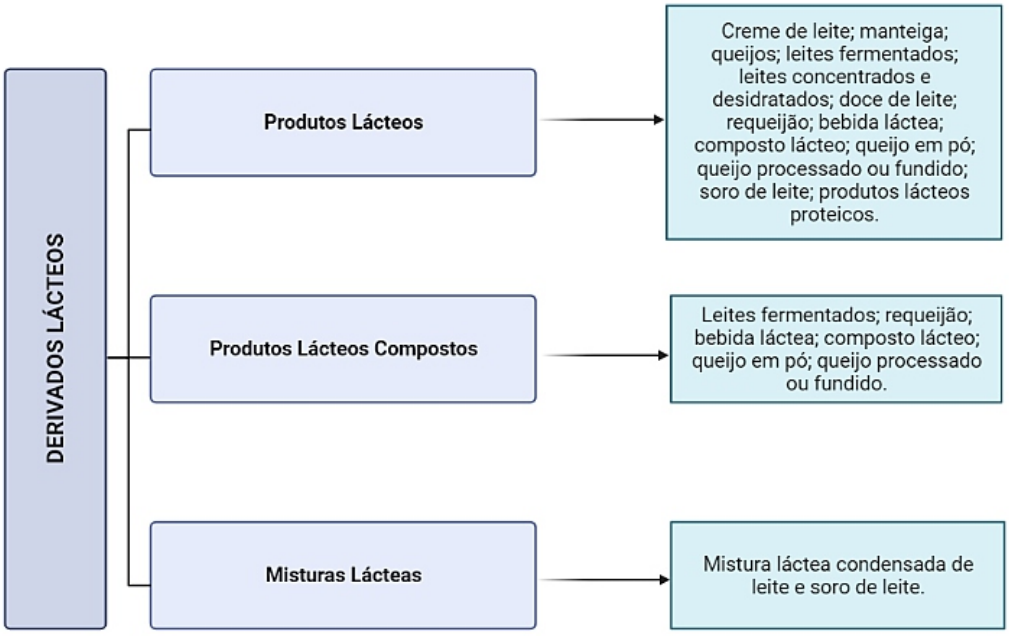
- Produtos lácteos: são os produtos obtidos mediante processamento tecnológico do leite, podendo conter ingredientes, aditivos e coadjuvantes de tecnologia, apenas quando funcionalmente necessários para o processamento. Os leites modificados, fluidos ou em pó, são os produtos lácteos resultantes da modificação da composição do leite mediante a subtração ou a adição dos seus constituintes.

- Produtos lácteos compostos são os produtos no qual o leite, os produtos lácteos ou os constituintes do leite representem mais que cinquenta por cento do produto final massa/massa, tal como se consome, sempre que os ingredientes não derivados do leite não estejam destinados a substituir total ou parcialmente qualquer dos constituintes do leite.

- Mistura láctea é o produto que contém em sua composição final mais que cinquenta por cento de produtos lácteos ou produtos lácteos compostos, tal como se consome, permitida a substituição dos constituintes do leite, desde que a denominação de venda seja "mistura de (o nome do produto lácteo ou produto lácteo composto que corresponda) e (produto adicionado)".

A Figura 16 apresenta alguns exemplos dos principais derivados lácteos segundo a classificação proposta pelo Regulamento de inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Pode-se observar que um mesmo produto pode ser classificado como produto lácteo ou produto lácteo composto, a depender de sua composição.

Figura 16 – Principais derivados lácteos segundo a classificação proposta pelo RIISPOA.



Fonte: Autores (2021)

Dentre os derivados lácteos produzidos no Brasil, merece destaque:

- Queijos
- Iogurtes
- Outros tipos de leites fermentados e bebidas lácteas
- Creme de leite
- Manteiga
- Doce de leite
- Leite em pó
- Leite condensado
- Sorvetes (embora não sejam considerados produtos típicos de laticínios, os sorvetes também podem ser elaborados à base de leite).

O restante do leite industrializado no Brasil é destinado à fabricação de leites de consumo como o leite pasteurizado e leite UHT que já foram discutidos em tópicos anteriores.

Neste tópico, serão apresentados os principais produtos lácteos produzidos no Brasil, destacando sua tecnologia de produção.

6.1. Creme de leite

Segundo o regulamento técnico de identidade e qualidade, do MAPA aprovado pela Portaria Nº 146/1996, creme de leite é o produto lácteo relativamente rico em gordura retirada do leite por procedimento tecnologicamente adequado, que apresenta a forma de uma emulsão de gordura em água (Brasil,1996).

A classificação do creme de leite destinado ao consumidor, segundo a legislação, pode ser baseada no teor de gordura e tratamento térmico submetido (Tabela 7 e Figura 17, respectivamente).

Tabela 7 – Classificação do creme de leite segundo teor de gordura.

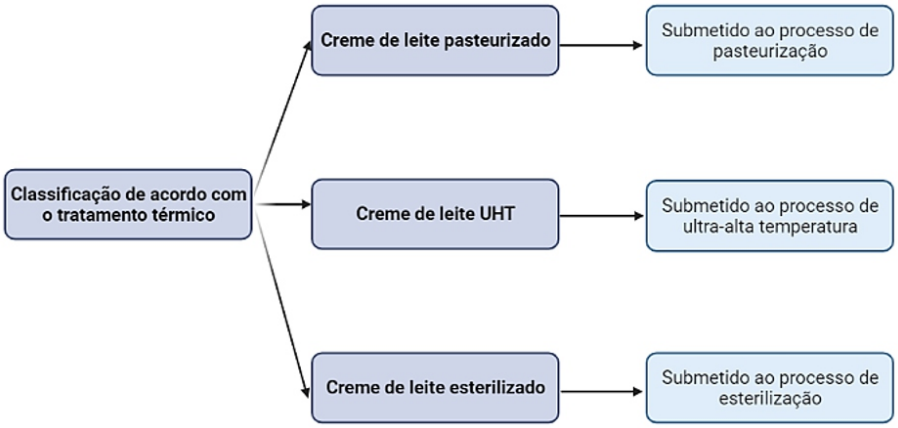
Gordura % (m/m)	Creme de leite ou Creme de baixo teor de gordura Creme leve Semicreme	Creme de leite	Creme de alto teor de gordura
máximo	19,0	49,9	
mínimo	10,0	20,0	50,0

Fonte: Adaptado de Brasil (1996)

Segundo o “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade” do produto, aprovado pela Portaria 146/1996 do Ministério da Agricultura e Pecuária, o creme cujo teor de matéria

gorda seja superior a 40% m/m poderá designar "duplo creme". O creme cujo conteúdo de matéria seja superior a 35 % m/m poderá, opcionalmente, designar-se "creme para bater". O creme UHT e UAT poderá designar-se, além disso, "Creme Longa Vida". O creme submetido ao processo de homogeneização deverá designar-se, além disso, como "homogeneizado" (Brasil, 1996).

Figura 17 – Classificação do creme de leite segundo tratamento térmico submetido.



Fonte: Adaptado de Brasil (1996).

No mercado varejista brasileiro, são encontrados, predominantemente, o creme de leite UHT/UAT, seguido do creme de leite pasteurizado. Além do creme de leite UHT em embalagem cartonada e o creme de leite pasteurizado, há o creme de leite em lata, o esterilizado (Prudencio et al. 2017).

Além dos cremes de leite disponíveis no mercado varejista, o “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade” do produto, aprovado pela Portaria 146/1996 do Ministério da Agricultura e Pecuária, define como creme de leite a granel de uso industrial o creme transportado em volume de um estabelecimento industrial de produtos lácteos a outro, que será processado e que não seja destinado diretamente ao consumidor final.

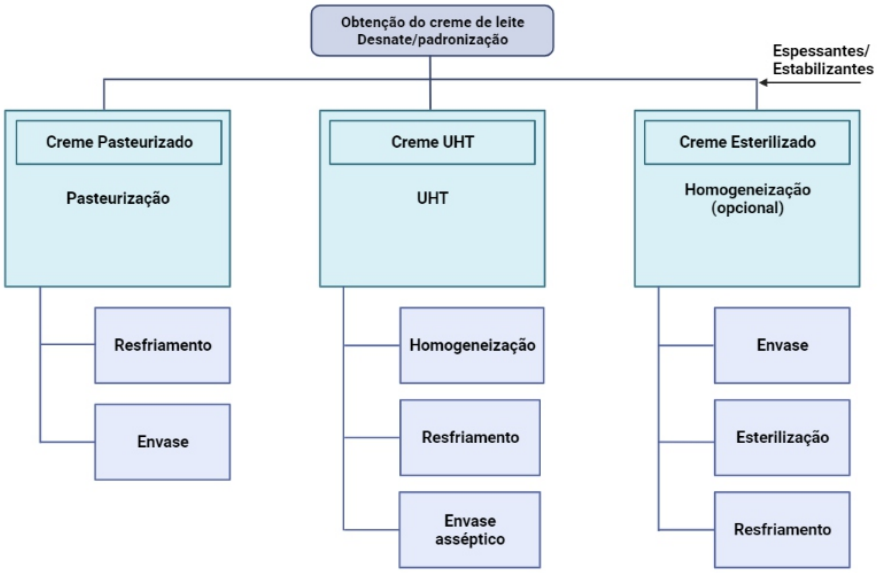
Tabela 8 – Diferenças entre cremes de leite.

	Creme de leite pasteurizado			Creme de leite UHT			Creme de leite Esterilizado			Creme de leite a granel
Tratamento térmico	Pasteurização			Tratamento ultra-alta temperatura			Esterilização			Termização (opcional)
Binômio	75ºC/15s creme <20% gordura 80ºC/15s creme com > 20% de gordura outros tratamentos equivalentes			135-150ºC/s outros tratamentos equivalentes			116ºC/20min outros tratamentos equivalentes			vide tópico termização
Gordura % (m/m)	10-19 Creme leve	20-49,9 Creme de leite	>50 Creme de alto teor de gordura	10-19 Creme leve	20-49,9 Creme de leite	>50 Creme de alto teor de gordura	10-19 Creme leve	20-49,9 Creme de leite	>50 Creme de alto teor de gordura	>10
Acidez g de ácido lático/100g	max. 0,20			max. 0,20			max. 0,20			max. 0,20
Agentes espessantes/estabilizantes	Não permitido			Permitido			Permitido			Não permitido

Fonte: Adaptado de Brasil (1996) e Brasil (2012).

As etapas de produção de creme de leite estão ilustradas na Figura 18.

Figura 18 – Etapas da produção de creme de leite pasteurizado, UHT e esterilizado.



Fonte: Autores (2021).

O processo de obtenção do creme de leite inicia-se pelo desnate do leite. O desnate realiza-se em centrífugas. Neste processo, o leite é admitido a uma temperatura acima de 40ºC e, por ação da força centrífuga, ocorre a separação das fases. O princípio da separação da gordura (0,93) do leite nas centrífugas envolve a menor densidade deste componente quando comparada com a porção de leite desnatado (1,036). Após a separação ocorre a padronização. O objetivo da padronização é produzir um creme de leite com teor de gordura definido. Atualmente, a padronização acontece em linha. Equipamentos monitoram e controlam automaticamente o teor de gordura do creme (Van Dender et al., 2014; Deosarkar, Khedkar, Kalyankar, & Sarode, 2016; Chaves et al., 2017).

Durante a padronização, a temperatura do creme pode ser superior a 40 °C, a padronização deve ser realizada o mais rápido possível, e sucessivamente o tratamento térmico e resfriamento para evitar o crescimento microbiano (Deosarkar et al., 2016).

Para a produção de creme de leite, o produto pode passar pelo processo de pasteurização, tratamento de ultra-alta temperatura e esterilização.

Para a pasteurização rápida do creme, o binômio 75 °C por 15 segundos é recomendado para cremes com teor de gordura menor que 20 g de gordura em 100g de produto (<20 %), ou 80 °C por 15 segundos para cremes contendo mais de 20 g/100 g (>20 %). O processamento UHT envolve tratamento térmico a 135-150 °C por poucos segundos, ocorrendo inativação dos microrganismos patogênicos e deteriorantes com mudanças químicas, físicas e sensoriais mínimas. Após o tratamento térmico, o creme de leite UHT é homogeneizado. O creme de leite esterilizado é submetido a um tratamento térmico de

116 °C/20 min ou outros tratamentos equivalentes. A homogeneização é aplicada apenas para certos produtos de creme de leite, em geral para aumentar a vida de prateleira ou melhorar a textura. O creme que será usado para fabricação de manteiga e chantilly, por exemplo, não deve ser homogeneizado. O objetivo da homogeneização é prevenir ou, ao menos, minimizar, o fenômeno da separação do creme. Esta separação é evitada pela redução do tamanho dos glóbulos de gordura, que levarão um tempo muito longo para se reagruparem, gerando a separação do creme (Smiddy, Kelly, & Huppertz, 2009, Brasil 1996).

6.2. Manteiga

A manteiga é o produto gorduroso obtido exclusivamente pela bateção e malaxagem, com ou sem modificação biológica do creme pasteurizado derivado exclusivamente do leite de vaca, por processos tecnologicamente adequados. A matéria gorda da manteiga deverá estar composta exclusivamente de gordura láctea (Brasil, 1996).

O “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade” do produto, aprovado pela Portaria 146/1996 do Ministério da Agricultura e Pecuária, classifica a manteiga como tipo extra ou primeira qualidade, de acordo com a avaliação sensorial, segundo Norma FIL 99A: 1987. Para designação de venda, denomina-se de "Manteiga" ou "Manteiga sem sal" o produto que não possuir cloreto de sódio em sua composição, ou "Manteiga salgada" ou "Manteiga com sal" o produto que possuir até máximo de 2g de cloreto de sódio por 100g de manteiga. Poderá denominar-se "manteiga maturada", se possuir fermentos láticos selecionados (Brasil, 1996).

O SIF ainda reconhece, em legislações específicas, outras duas modalidades de manteiga:

- manteiga comum: instituída para comercialização exclusiva em território nacional, permite a utilização do creme ou gordura láctea proveniente do desnate do leite ácido e ou do soro obtido da fabricação de queijos (Brasil, 2000).

- manteiga de garrafa, da terra ou do sertão: é o produto gorduroso nos estados líquido e pastoso, obtido a partir do creme de leite, pela eliminação quase total da água, mediante processo tecnologicamente adequado. É obtida a partir do aquecimento do creme de leite a temperaturas entre 110 e 120°C sob agitação até completa fusão e quase total eliminação da água, com precipitação dos sólidos não gordurosos, que constitui a borra e adquire coloração parda (café). A fase sobrenadante, oleosa e líquida, separada por decantação em temperatura ambiente é filtrada e envasada (Brasil, 2001).

A manteiga deverá apresentar os parâmetros de qualidade definidos na Tabela 9, exceto no caso de manteiga classificada como salgada, que o percentual de matéria gorda não poderá ser menor que 80 % (Brasil, 1996).

Tabela 9 - Parâmetros mínimos de qualidade para manteiga sem sal

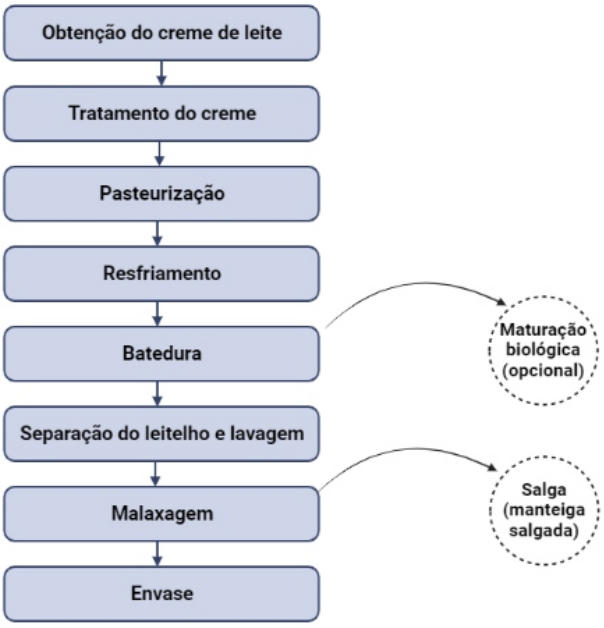
Requisitos	Limite
Matéria gorda (% m/m)	mínimo 82,0
Umidade (% m/m)	máximo 16,0
Extrato seco desengordurado (%m/m)	máximo 2,0
Acidez na gordura (milimoles/100g).	máximo 3,0
Índice de peróxido (meq. de peróxido/kg)	máximo 1,0

Fonte: Autores (2021).

Segundo a Portaria n°146 de 07 de março de 1996, que aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Manteiga, é permitido a adição na quantidade desejada, dos corantes: bixa orelana, beta caroteno e curcuma ou curcumina, naturais ou sintéticos, idênticos aos naturais. Também se aceita o uso de descorantes: clorofilina ou clorofilina cúprica, ambos em quantidade suficiente para obter o efeito desejado. Quanto aos coadjuvantes admite-se a adição dos seguintes sais neutralizantes, em uma quantidade máxima de 2.000 mg/kg isolados ou combinados, expressos como substâncias anidra, tais como: ortofosfato de sódio; carbonato de sódio; bicarbonato de sódio; hidróxido de sódio; hidróxido de cálcio. (Brasil, 1996).

As etapas da produção de manteiga estão ilustradas na Figura 19.

Figura 19 - Etapas da tecnologia de produção da manteiga.



Fonte: Autores (2021).

O método mais comumente usado para a produção de manteiga é o método de agitação em que o creme é convertido em manteiga por agitação mecânica, seja em um processo contínuo ou em batelada. O processo em batelada será descrito neste tópico.

O creme é separado do leite por centrifugação. Normalmente, o leite cru é pré-aquecido a mais de 40 °C para assegurar que toda a gordura esteja em estado líquido. Para o processo de produção da manteiga em batelada, o creme é padronizado para 35- 40 % de gordura (Deosarkar, Khedkar, & Kalyankar, 2016).

Caso o creme de leite possua acidez elevada é necessária sua correção. A alta acidez forma um creme denso, que coagula quando pasteurizado, possibilitando a formação de sabor de queimado. Além disso, há perdas de rendimento, uma vez que a caseína poderá englobar partículas de gorduras e microrganismos durante a precipitação. Assim, haverá diminuição na qualidade da manteiga, pois ela será um produto oleoso, inconsistente, com sabor de peixe e sabor amargo. Por isso, deve-se corrigir a acidez do creme para 15 a 20 ºD, para uma pasteurização bem-sucedida. No entanto, deve-se realizar uma neutralização correta, pois uma neutralização em excesso, poderá ocasionar saponificação de gordura, favorecer o crescimento de bactérias alcalinizadas ou proteolíticas, causando sabores indesejáveis (Silva, 1996; Valsechi, 2001).Para destruição dos patógenos e microrganismos deteriorantes, bem como para inativar enzimas lipolíticas e proteolíticas, o creme é tratado termicamente em trocadores de calor de placas (Deosarkar et al. 2016).

O Binômio tempo/temperatura do tratamento térmico do creme varia entre as indústrias, no entanto, o tratamento tem que ser suficiente para resultar em um teste de fosfatase negativo, porém o aquecimento não deve ser excessivo a ponto de causar sabor de cozido (Prudencio et al., 2017).

É possível combinar um tratamento de alta temperatura em curto prazo com a desodorização a vácuo. Uma câmara de vácuo pode ser instalada após a unidade de aquecimento. Este sistema é utilizado principalmente em países onde as vacas leiteiras são alimentadas a pasto com ervas daninhas de sabor forte, o que poderia causar sabores desagradáveis no leite (Mortensen, 2011).

O creme é resfriado imediatamente após o tratamento térmico, geralmente dentro do trocador de calor de placas usado para pasteurização. O creme deve ser mantido por pelo menos 4 h em refrigeração para permitir a cristalização adequada da gordura (Deosarkar et al. 2016).

Quanto à maturação, a manteiga pode ser fabricada de duas formas, com fermentação (maturação biológica) do creme ou sem a fermentação. A maturação biológica traduz-se na aromatização e na acidificação adequada do creme, cuja estrutura física deve permitir uma batedura correta. A fermentação é, então, iniciada pela adição de bactérias láticas (fermento lácteo). No processo de maturação, as bactérias láticas

acidificantes atuam sobre a lactose produzindo ácido lático. Já as bactérias aromatizantes, atuam sobre o ácido lático e ácido cítrico, formando os compostos como ácido acético, acetaldeído e diacetil, responsáveis pelo aroma característico da manteiga (Prudencio et al., 2017).

A próxima etapa do processo de produção da manteiga consiste na batedura do creme, onde ocorre a inversão da emulsão (óleo em água) em (água em óleo). O princípio básico do método de agitação se baseia na incorporação de ar ao creme, onde forma uma espuma. Simultaneamente, algumas membranas de glóbulos de gordura são rompidas, e a gordura líquida é espremida dos glóbulos de gordura danificados e espalhada na interface da espuma, fazendo os glóbulos de gordura grudar na lamela da espuma. Quanto maior a agitação, mais gordura é expulsa; aumenta-se a instabilidade da espuma, fazendo-a romper. Nesse momento os glóbulos de gordura se aglomeram e observa-se o aparecimento do que se chama de grãos de manteiga. Nessa fase separa-se duas fases: uma gordurosa (manteiga) e uma aquosa (leitelho) (Ordóñez et al., 2005; Mortensen, 2011).Após a separação do leitelho, a manteiga pode ser lavada. Tradicionalmente, a manteiga bem lavada terá uma vida útil mais longa do que a manteiga não lavada. O sal pode ser adicionado seco ou na forma de salmoura como uma lavagem final. Os grãos de manteiga são "trabalhados" para expulsar excesso de umidade, criar uma distribuição uniforme e fina de gotículas de água e produzir um produto de textura uniforme e de cor uniforme (Deosarkar et al., 2016), esse trabalho da massa é conhecido como malaxagem. pós a malaxagem, a manteiga é envasada.

6.3. Leite Condensado

Segundo o “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade” aprovado pela Instrução Normativa 47/2018 do Ministério da Agricultura e Pecuária, o leite condensado é definido como “o produto resultante da desidratação parcial do leite, leite concentrado ou reconstituído, com adição de açúcar, podendo ter seus teores de gordura e proteína ajustados unicamente para o atendimento das características do produto.” (Brasil, 2018c).

Segundo a legislação brasileira a classificação do leite condensado é definida de acordo com o teor de gordura (Tabela 10). O teor de proteína e de gordura podem ser corrigidos apenas para cumprir com os requisitos de composição, sem alterar a relação de proteínas do soro e de caseínas (Brasil, 2018c).

Em relação ao açúcar adicionado normalmente trata-se da sacarose, porém pode ser usada uma combinação com outros açúcares. A quantidade de açúcar incorporada ao leite é restringida de acordo com as Boas Práticas de Fabricação a um valor mínimo que garanta a manutenção da qualidade do produto, e a um valor máximo, em que a partir dele possa ocorrer risco de cristalização do açúcar (Brasil, 2018c).

Tabela 10– Classificação e requisitos físico-químicos do leite condensado.

LEITE CONDENSADO INTEGRAL	
Gordura láctea (% m/m)	mínimo 8
Sólidos lácteos totais (% m/m)	mínimo 28
Proteína láctea nos sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 34
LEITE CONDENSADO DESNATADO	
Gordura láctea (% m/m)	máximo. 1
Sólidos lácteos totais (% m/m)	mínimo 24
Proteína láctea nos sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 34
LEITE CONDENSADO PARCIALMENTE DESNATADO	
Gordura láctea (% m/m)	mínimo 1
Gordura láctea (% m/m)	máximo 8
Sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 20
Sólidos lácteos totais (% m/m)	mínimo 24
Proteína láctea nos sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 34
LEITE CONDENSADO COM ALTO TEOR DE GORDURA	
Gordura láctea (% m/m)	mínimo 16
Sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 14
Proteína láctea nos sólidos lácteos não gordurosos (% m/m)	mínimo 34

Fonte: Adaptado de Brasil (2018c).

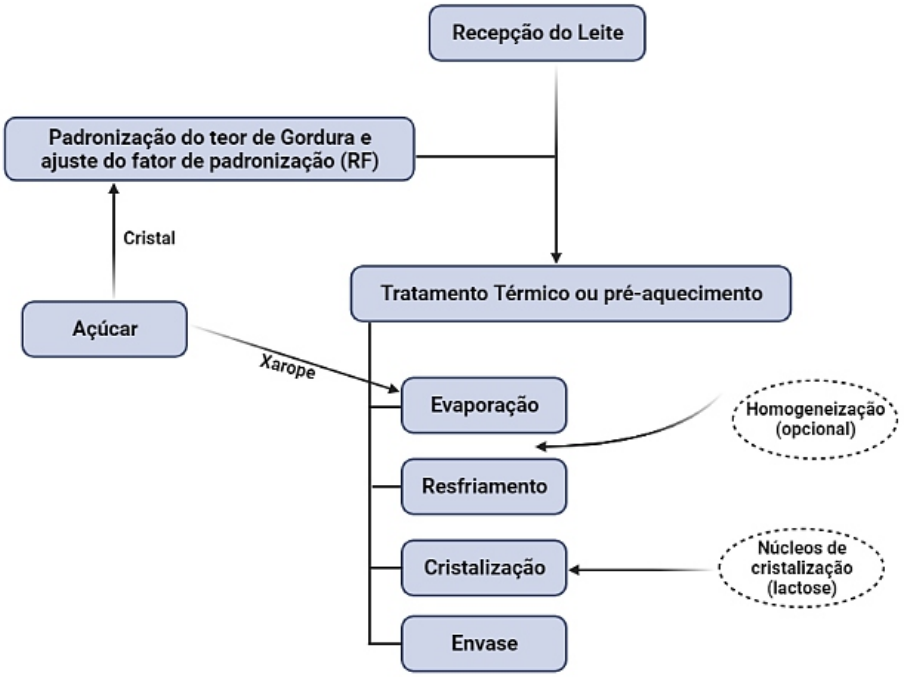
Portanto, para a fabricação de leite condensado, conforme preconiza a legislação, configura ingredientes obrigatórios: o leite fluido ou o leite concentrado ou ambos e sacarose. O leite condensado pode apresentar os seguintes ingredientes opcionais lácteos: creme de leite; gordura anidra de leite; lactose; leite em pó; e manteiga. Estes ingredientes opcionais podem ser utilizados unicamente para ajustar os teores de proteína e gordura com o objetivo de cumprir os requisitos de composição estipulados no Regulamento (Brasil, 2018c).

O processo de produção do leite condensado inicia-se com a recepção do leite, seja leite fluido, concentrado ou em pó, ou uma combinação entre estas matérias-primas.

O processo de padronização do leite ocorre nas centrífugas padronizadoras. Na indústria de produtos lácteos concentrados e desidratados a padronização da composição final é determinante para a consolidação das tecnologias. O fator de padronização (RF) é o mais empregado para a padronização desta tecnologia, consiste na relação entre a porcentagem de gordura (% Gd) do produto final e a porcentagem de sólidos não gordurosos (% SNG). Com o valor de RF do produto, pode-se adicionar leite desnatado ou creme ao leite a ser processado (Perrone et al., 2017).

As etapas de produção do leite condensado estão ilustradas na Figura 20.

Figura 20 – Etapas do processo de produção de leite condensado.



Fonte: Autores (2021).

A etapa de homogeneização é opcional quando se trabalha somente com leite fluido, porém é bastante empregada em indústrias que trabalham com misturas de leite, leite concentrado e leite em pó, tendo papel importante na solubilização do leite em pó e na viscosidade do produto final (Renhe, Perrone, & Silva, 2011).O açúcar (sacarose) pode ser dissolvido no leite frio antes do pré-aquecimento (tratamento térmico) ou pode-se adicionar o xarope de açúcar após o pré-aquecimento ou na evaporação (Nieuwenhuijse, 2011).

O pré-aquecimento é o tratamento térmico do leite antes de ser concentrado. O tempo e a temperatura de pré-aquecimento dependem do processo utilizado (contínuo ou batelada) e do método de adição de açúcar. Onde se produz o leite condensado reconstituído, produto fabricado a partir do leite em pó, o pré-aquecimento é feito pelo fabricante do pó, antes da concentração e secagem (Nieuwenhuijse, 2011).

O evaporador utilizado para a concentração do leite é o evaporador de tubos longos descendentes, com base no princípio do múltiplo efeito ao qual está acoplado um *finisher* (finalizador) e um sistema de resfriamento. Todos os evaporadores empregados atualmente para concentrar o leite funcionam a pressões inferiores à atmosférica, para que o ponto de ebulição do leite seja inferior a 100°C, o que evita modificações indesejadas (excessiva desnaturação das proteínas do soro, perda de nutrientes, entre outros fatores). (Ordóñez et al., 2005). O controle da etapa de concentração é realizado através da medição da densidade. Conhecendo-se a composição final do produto e a temperatura que o leite sairá

do último efeito, é possível calcular o valor esperado para a densidade do leite condensado. No *finisher* podem ser instalados densímetros de linha que informarão o valor da densidade, e caso a densidade esteja inferior ao valor esperado, o sistema injeta vapor no *finisher* com o intuito de padronizar a densidade (Renhe, Perrone, & Silva, 2011).

Na fabricação do leite condensado, em seguida à evaporação é realizado um resfriamento do produto. A velocidade de resfriamento requerida com um líquido tão viscoso como o leite condensado é obtida nos chamados f*lash coolers*, nesses aparelhos, trabalha-se a pressões inferiores à atmosférica; com isso facilita-se a evaporação. (Ordóñez et al., 2005, Renhe, Perrone, & Silva, 2011, Tetra Pak, 2015).

O teor de lactose do leite condensado é de cerca de 38g $100g^{-1}$ de água. A 25 °C, a solubilidade da lactose é de cerca de 11g 100 g^{-1} de água. Assim, a lactose cristaliza durante o resfriamento do produto, mas não a uma taxa elevada. Assim, poucos núcleos são formados e estes crescem para grandes cristais que são perceptíveis durante o consumo ou assentam no fundo da embalagem a um ritmo apreciavelmente mais rápido, o que não é aceitável. Como a cristalização não pode ser evitada, o processo de produção deve produzir um produto que contenha um grande número de pequenos cristais que não sejam perceptíveis e não se estabeleçam como sedimentos. A maneira usual de conseguir isso é promover a semeadura da lactose. Neste caso, cerca de 0,02 a 0,05 % de cristais de lactose de tamanho entre 1-1,5 µm são adicionados ao produto, já que cristais de lactose menores que 10 µm não são perceptíveis na boca. Isto pode ser feito apenas a uma temperatura na qual o leite condensado é supersaturado em relação à lactose (abaixo de 40-35 °C), porque de outro modo os cristais de lactose adicionados se dissolvem antes que possam ter efeito. Após a semeadura, o resfriamento rápido assegura uma ótima cristalização da lactose (Nieuwenhuijse, 2011). Finalizado o processo de cristalização, o leite condensado é envasado.

6.4. Doce de leite

Segundo o "Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade" aprovado pela Portaria 354/1997, do Ministério da Agricultura e Pecuária, entende-se por Doce de Leite, o produto com ou sem adição de outras substâncias alimentícias, obtido por concentração e ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem lácteas e/ou creme adicionado de sacarose (parcialmente substituída ou não por monossacarídeos e/ou outros dissacarídeos). O doce de leite deverá apresentar os parâmetros de qualidade definidos na Tabela 12. O regulamento, ainda, define a quantidade de sacarose que pode ser empregada na obtenção do produto, sendo o limite máximo de 30 % (m/v) em relação ao volume de leite. São permitidos também inúmeros ingredientes, aditivos e coadjuvantes de tecnologia. Amidos nativos ou modificados são admitidos em proporção não superior a 0,5 % (m/v) de leite, assim como mono ou dissacarídeos que substituam a sacarose em no máximo 40 % (m/m) como a glicose. Gomas são permitidas na concentração máxima de 5000 mg kg-1 de produto final. O bicarbonato de sódio pode ser empregue

como coadjuvante, na quantidade necessária para as boas práticas de fabricação. Alguns exemplos são apresentados a seguir (Brasil, 1997):

- **Ingredientes Obrigatórios**: Leite e açúcar
- **Ingredientes opcionais:** creme, glicose, soro, amido, etc.
- **Aditivos:** citrato de sódio, ácido sórbico e seus sais, etc.
- **Coadjuvantes de tecnologia:** bicarbonato, lactase.

Tabela 12 - Requisitos Físico-Químicos para o doce de leite.

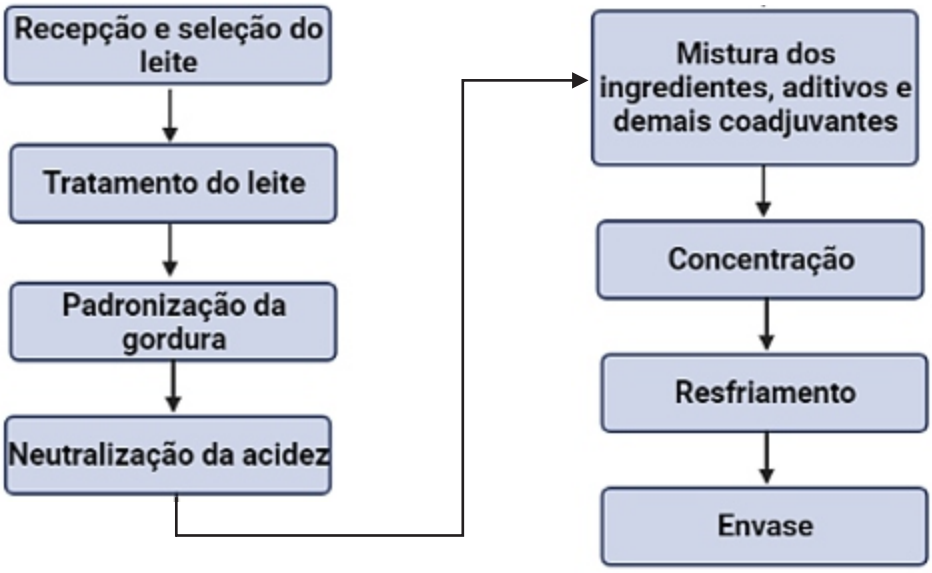
Requisitos	Limite
Gordura (% m/m)	6,0 a 9,0
Umidade (% m/m)	máximo 30,0
Cinzas (% m/m)	máximo 2,0
Proteína (% m/m)	mínimo 5,0

Fonte: Adaptado de Brasil (1997).

O doce de leite pode ser obtido na forma de doce em pasta ou barra (tablete). Os processos de obtenção diferem na quantidade de sacarose utilizada e na determinação do ponto final (Perrone, Stephani, & Neves, 2011).

As etapas de produção do doce em pasta estão representadas na figura 21.

Figura 21 – Etapas do processo de produção de doce de leite.



Fonte: Autores (2021).

Antes de qualquer outro procedimento, deve-se selecionar o leite. Para isto, são realizadas análises a fim de assegurar a qualidade. As análises fundamentais são acidez, determinação de gordura e extrato seco total. O tratamento do leite inclui principalmente a filtração para retirada de impurezas e opcionalmente pode-se realizar uma clarificação com o objetivo de reduzir a carga microbiana. Posteriormente é realizada a padronização do teor de gordura do leite, deve-se padronizar o leite tendo em vista a exigência da legislação de um mínimo de 6 % de gordura no produto final.

Normalmente o leite apresenta acidez titulável na faixa de 15-18 °D, que é elevada para a produção de doce de leite, uma acidez elevada pode resultar em precipitação das proteínas, o que produz um doce de leite "talhado". Para tanto, costuma-se reduzir esta acidez pela adição de bicarbonato de sódio até uma faixa ideal de 12-13 °D (Perrone, Stephani, & Neves, 2011).

O primeiro passo no processamento é a preparação da mistura inicial. Quando o tipo e a composição final do doce de leite forem estabelecidos, um balanço de massa é realizado para o cálculo dos ingredientes. Os produtos neutralizantes não estão incluídos no balanço de massa porque suas quantidades são muito pequenas em relação aos ingredientes principais. A acidez do leite é a base para o cálculo da quantidade de neutralizante a ser adicionada para alcançar a redução desejada. Quando a preparação da mistura é completada, esta é submetida à concentração (Zalazar & Perotti, 2011).

A produção do doce de leite pode ocorrer em diversos sistemas, utilizando tachos por batelada, tachos de forma contínua e evaporador tubular ou em tacho a vácuo. Entretanto, todos os sistemas apresentam o mesmo princípio: evaporação da água por aplicação indireta de calor até a concentração ideal do doce (Pacheco & Leite-Júnior, 2020).

A utilização de tachos é o processo mais amplamente utilizado na indústria. Os tachos são dotados de um agitador para evitar a aderência do doce à parede e também para auxiliar a liberação de vapores da massa quente do produto para a superfície (Zalazar & Perotti, 2011).

Na indústria, o ponto final de fabricação, isto é, a mensuração do teor de sólidos solúveis totais (SST), dado em °Brix é determinado por meio de um refratômetro. Para o doce em pasta o valor do ºBrix deve ser aproximadamente 68 ºBrix que equivale a cerca de 70 % m/m de sólidos totais. Para o doce em barra 84-86 ºBrix antes da bateção e 86-88 ºBrix após a bateção. Após a determinação do ponto desejado, o doce deve ser resfriado a 75-80 ºC (Perrone, Stephani, & Neves, 2011). Atingida a temperatura de resfriamento, o doce é envasado.

Para o doce de leite em barra, o doce sofre uma intensa agitação, ao mesmo tempo em que é resfriado lentamente para que o mesmo adquira as características de textura e corte desejadas. Este processo de bateção ou cristalização controlada induz a formação de inúmeros cristais de lactose e sacarose, mudando a textura do produto (Perrone, 2007).

6.5. Queijos

Segundo o "Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade" aprovado pela Portaria 146/1996 do Ministério da Agricultura e Pecuária, queijo é o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactérias específicas, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes (Brasil, 1996).

Os queijos podem ser classificados de acordo com o processo de coagulação; tratamento térmico da massa; maturação; conteúdo de matéria gorda e umidade (Tabela 11). Sendo que a classificação quanto ao teor de gordura e umidade são estabelecidos pela Portaria 146/1996 do Ministério da Agricultura e Pecuária (Brasil, 1996).

Tabela 11 - Classificação de acordo com o processo de coagulação; tratamento térmico da massa; maturação; conteúdo de matéria gorda e umidade.

Quanto ao processo de coagulação	Quanto ao tratamento térmico da massa	Quanto à maturação	Quanto ao teor de gordura no extrato seco	Quanto ao teor de umidade
Enzimática: todo processo cuja coagulação é predominantemente por ação do coalho ou coagulante enzimático.*	**Massa crua:** quando o tratamento durante a fabricação no tanque é inferior a 38ºC.	**Queijos frescos:** período de maturação inferior a 10 dias.	**Extra gordo:** mínimo de 60% de GES	**Queijo de baixa umidade (Duro):** umidade de até 35,9%
Ácida: todo processo cuja coagulação é predominantemente por ação da acidificação, que pode ser tanto por fermentação quanto por adição direta de ácido.*	**Semi-cozida:** quando o tratamento durante a fabricação no tanque está entre 38-45ºC.	**Queijos de média maturação:** período de maturação entre 10 dias e 3 meses. Exemplo: prato	**Gordo:** entre 45 e 59,9% de GES	**Queijo de média umidade (Semiduro):** umidade entre 36 e 45,9%
	Cozido: quando o tratamento durante a fabricação no tanque é acima de 45ºC.	**Queijos de longa maturação:** queijos com maturação acima de 3 meses, podendo chegar a mais de um ano.	**Semigordo:** entre 25 e 44,9% de GES	**Queijo de alta umidade (Macio):** umidade entre 46 e 54,9%
			Magros: entre 10 e 24,9% de GES	**Queijo de muita alta umidade (Mole):** umidade não inferior a 55%
			Desnatados: menos de 10% de GES	

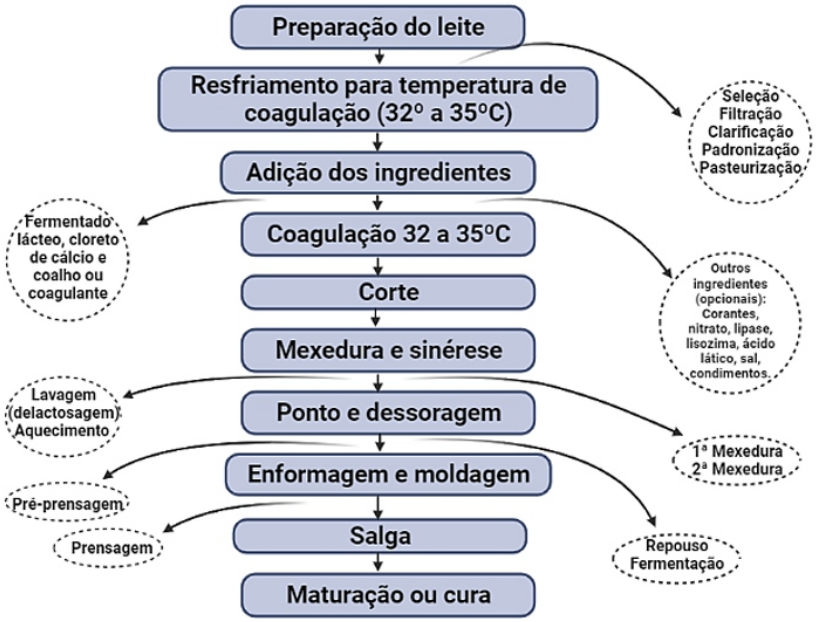
O leite para a fabricação de queijos deve apresentar cor, sabor e aroma normais, ser isento de substâncias inibitórias (antibióticos, detergentes, sanitizantes) e possuir qualidade microbiológica adequada. Após a recepção, o leite passa obrigatoriamente por operações de filtração e opcionalmente por clarificação, bactofugação ou microfiltração, etapas que podem ser empregadas na redução da contagem microbiana (Dutra, 2017).

Após as etapas de tratamento, o leite segue para a padronização e pasteurização. A padronização consiste no acerto percentual de gordura do leite de acordo com o tipo de queijo que será produzido. A pasteurização do leite é obrigatória para destruir potencialmente os microrganismos patogênicos presentes no leite cru quando se fabricam

queijos com período de maturação inferior a 60 dias, conforme preconiza a legislação (Brasil, 2020).

A Figura 22 representa as etapas do processo de produção de queijos.

Figura 22 – Etapas do processo de produção de queijos.



Fonte: Autor (2021).

A pasteurização do leite envolve o tratamento do leite a 62-65 °C por 30 minutos (pasteurização lenta) ou 72-75 °C por 15 a 20 segundos (pasteurização rápida) (Brasil, 2020). O tratamento do leite destrói além dos microrganismos patogênicos, as bactérias láticas que exercem um papel fundamental no desenvolvimento das características desejadas no queijo durante a cura. Dessa forma, torna-se necessário adicionar os fermentos láticos (Ribeiro, 2001).

O leite, ao passar pelo processo de pasteurização, deve ser resfriado para receber os ingredientes, a temperatura de resfriamento irá variar devido à presença ou não de fermento.

Um dos primeiros ingredientes a ser adicionado é o cloreto de cálcio. O cálcio desempenha um papel essencial na coagulação enzimática do leite e no processamento subsequente do coágulo, portanto, é prática comum adicionar solução de $CaCl^2$ ao leite (Fox, 2011).

Os principais pigmentos do leite são os carotenoides, obtidos da dieta do animal. O gado transfere carotenoides para tecido adiposo e leite. A cor amarelada dos produtos lácteos produzidos a partir do leite de vaca pode torná-los menos aceitáveis do que os produtos produzidos a partir de leite de ovelha, cabra ou búfalo em regiões onde os últimos são tradicionais. No outro extremo estão os indivíduos que preferem queijo altamente colorido, o que geralmente é obtido com a adição de urucum (Fox, 2011), como no queijo tipo Prato,

entre outros. No Brasil, para a fabricação de queijos de média e baixa umidade, é permitida a adição de nitrato de sódio ou potássio ao leite ou de lisozima para se evitar o estufamento tardio em queijos, causado por microrganismos do gênero *Clostridium*. A enzima lipase de cabrito ou cordeiro pode ser adicionada quando deseja-se obter queijos com sabor mais picante, como o provolone e parmesão, já que a lipase endógena do leite é desnaturada com o processo de pasteurização. (Dutra, 2017).

O processo de pasteurização elimina mais de 99 % das bactérias presentes no leite, incluindo as bactérias ácido-láticas (LAB). Consequentemente, para fazer um queijo com as propriedades desejadas, as culturas iniciais são adicionadas ao leite. A cultura inicial ou primária desempenha assim um papel crucial durante o processo real de fabricação de queijo, mas também durante o processo de maturação. Durante a maturação, após a fase inicial de conversão da lactose, a cultura inicial influencia o desenvolvimento do sabor, aroma e textura (Dusterhoft, Engels & Huppertz, 2017). Na Tabela 12 está apresentada a classificação de bactérias ácido-láticas usadas na fabricação de queijos (Farkye, 2014).

Tabela 12 - Classificação para bactérias ácido-láticas utilizadas na fabricação de queijos.

Espécies de bactérias ácido-láticas	Tipo de queijo fabricado
Mesofílicas (crescimento ótimo entre 20 e 40°C)	
Homofermentativas	
Lactococcus lactis ssp. cremoris	Cheddar, Gouda e Azul
Lactococcus lactis ssp. lactis	Camembert, Limburger, Brie, Cottage e Cream Cheese
Heterofermentativas	
(cit$^+$) Lactococcus lactis ssp. lactis *Leuconostoc mesenteroides ssp. cremoris*	Gouda e tipo holandês, azul, queijo cottage e cream cheese
Termofílicas (crescimento ótimo entre 30 e 55°C)	
Homofermentativas	
Streptococcus thermophilus *Lactobacillus helveticus* *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*	Tipo Emmental/suíço, Mozzarella, Romano, Parmesão e Provolone

Fonte: Adaptado de Farkye, 2014.

Os microrganismos aplicados na fabricação de queijos que têm pouca ou nenhuma função na produção de ácido são denominados culturas secundárias. Estas culturas secundárias incluem leveduras, fungos e bactérias ácido-láticas não iniciadoras (NSLAB). O principal papel desses microrganismos é evocar mudanças sensoriais e bioquímicas no queijo (Engels et al., 2017). Na Tabela 13 estão representados os microrganismos utilizados como cultura secundária (Farkye, 2014).

Tabela 13 - Microrganismos utilizados como iniciadores secundários na fabricação de queijos.

Microrganismo ou espécie	Tipo de queijo fabricado
Propionibacterium freudenreichii var. shermanii	Tipo suíço (como por exemplo, queijo Emmental e Gruyère)
Brevibacterium linens	Limburger
Penicillium roqueforti	Tipos de bolor azul (como por exemplo, queijo Roquefort, Stilton, Azul, etc.)
Penicillium camemberti	Tipos de bolor branco (como por exemplo, queijo Camembert)
Penicillium candidum	Brie

Fonte: Adaptado de Farkye, 2014.

A coagulação é uma etapa decisiva na fabricação de queijos. A coalhada pode formar- se, por duas vias: ácida e enzimática.

A coagulação ácida consiste essencialmente na diminuição do pH por acúmulo de ácido lático (adição de ácidos ou fermento lático), o que determina a solubilização dos sais cálcicos das micelas de caseína, produzindo migração progressiva do cálcio e dos fosfatos para a fase aquosa, com paulatina desmineralização das caseínas, que é total a pH próximo de 4,6, ponto isoelétrico das caseínas. Dado o papel tão importante do cálcio e dos fosfatos na estrutura micélica, o deslocamento desses minerais é acompanhado de desestabilização das micelas, favorecida pela neutralização da sua carga superficial. Ao mesmo tempo, há uma desidratação profunda das caseínas, culminando em sua insolubilização (Ordóñez et al., 2005). O soro obtido por coagulação ácida é denominado soro ácido. Este tipo de coagulação é usado na fabricação de alguns tipos de queijos, como petit suisse, requeijão e Cottage (Ribeiro, 2001).

Nos queijos produzidos por coagulação enzimática, o agente coagulante ou coalho é o ingrediente responsável pela coagulação. Historicamente, a enzima mais utilizada neste processo é a renina (quimosina) extraída do quarto estômago de ruminantes. Industrialmente a renina é constituída de uma mistura de quimosina e pepsina. A relação quimosina:pepsina varia consideravelmente com a idade do animal, que quanto mais jovem, maior a proporção de quimosina (em vitelos o teor de quimosina é superior a 80%). A limitação na fonte de quimosina pura e o alto preço incentivou a busca por fontes alternativas de proteases que atuassem de modo similar a quimosina. Alguns substitutos de renina podem ser aplicados: enzimas vegetais (extrato de *Cynara cardunculus* (“cardo”) utilizado para a fabricação do queijo Serra da Estrela em Portugal), coagulantes microbianos (origem fúngica: *Rhizomucor miehei, Rhizomucor pusillus, Aspergillus oryzae* e *Endothia parasítica*), bastante utilizados atualmente e enzimas coagulantes obtidas por técnicas do DNA recombinante (Dutra, 2017; Koblitz, 2010).

O mecanismo catalítico das enzimas de coagulação do leite é hidrolisar a ligação entre os aminoácidos fenilalanina e metionina (Phe 105 – Met 106) da κ-caseína na superfície da micela de caseína. A hidrólise da κ-caseína desestabiliza as micelas de caseína, que coagulam na presença de Ca^{2+}. A quimosina tem uma forte afinidade por esta região da κ-caseína. As outras proteinases aspárticas da coagulação do leite, isto é, pepsina, proteinase de *Rhizomucor miehei* (EC 3.4.23.6), proteinase de *Rhizomucor pusillus* (EC 3.4.23.6), e *Cryphonectria* (anteriormente Endothia) *parasitica* proteinase (EC 3.4.23.6), têm uma atividade específica de coagulação do leite que é mais baixa que a da quimosina e varia entre elas. Também deve ser lembrado que as condições de coagulação do leite, como pH, teor de cálcio e temperatura, influenciam fortemente a atividade de coagulação do leite; a atividade de coagulação do leite da pepsina é altamente dependente do pH (Andrén, 2011).

Após o tempo de coagulação, realiza-se o corte da coalhada. O objetivo desta etapa é aumentar a área superficial do coágulo a fim de facilitar a expulsão de soro e um aquecimento mais uniforme das partículas de massa no tanque. Quando se pretende elaborar queijos moles, o coágulo é cortado em partículas (grãos) maiores e quando se produzem queijos semiduros ou duros, os grãos devem ser menores, apresentando o tamanho de grãos de milho e arroz, respectivamente (Ribeiro, 2001).

Para o corte, são utilizadas liras, que podem ser de fio ou de facas. O corte é feito horizontalmente e verticalmente de forma a obter os cubos desejados quando se usa liras de fio, podendo ser feito somente na vertical quando se usa liras de faca em tanques maiores (Dutra 2017). Após o corte, a mexedura da massa tem como objetivo evitar o reagrupamento dos grãos de coalhada.

A delactosagem é realizada em queijos de massa lavada, nos quais deve-se evitar uma acidificação acentuada. Em queijos como Prato, Gouda, Edam, Estepe, retira-se de 30 a 40% de soro em relação ao volume de leite e adiciona-se água. Esse processo resulta em redução do teor de lactose e, consequentemente, em menor acidificação, aumenta a eficiência da mexedura, facilitando a contração da coalhada (sinérese) (Dutra, 2017).

Para queijos semiduros e duros, o corte dos grãos pequenos e a agitação contínua não são suficientes para se obter intensidade de dessora desejada. Dessa forma, efetua-se o cozimento da massa, o qual provoca a contração dos grãos de massa e uma maior expulsão do soro. O cozimento pode ser realizado através de água quente ou vapor fluente na camisa do tanque, com agitação constante (Ribeiro, 2001).

Ao se atingir o ponto, ou seja, no término da operação de agitação e cozimento, faz-se a pré-prensagem ou enformagem direta da massa. Para queijos moles, a massa é colocada nas formas e, a partir desses, o soro drena pelos orifícios que os moldes possuem. Para queijos semiduros ou duros, a separação do soro é feita mecanicamente, mediante uma prancha de aço inox que comprime a massa em um dos extremos do tanque, e assim o soro é retirado pelo outro lado do tanque, realizando em seguida uma pré-prensagem da massa. Após a separação do soro e pré-prensagem, a massa é colocada em formas próprias, cujas dimensões e formatos variam conforme o tipo de queijo (Dutra, 2017).

Para os queijos semi-duros e duros após a enformagem, realiza-se a prensagem. Essa operação visa unir os grãos de massa e dar origem a um só bloco de estrutura homogênea, completar a expulsão de soro, conferir o formato desejado ao queijo e formar a sua casca característica (Ribeiro, 2001).

O objetivo principal da salga dos queijos é a preservação. Além de sua função na preservação do queijo e sua contribuição direta de sabor, o sal afeta muitas propriedades importantes dos queijos. Existem basicamente três métodos principais de salga do queijo que podem ser utilizadas isoladas ou uma combinação delas (Guinee & Sutherland, 2011, Dusterhoft & Huppertz, 2017):

- Salmoura - os queijos são imersos em salmoura até que a quantidade desejada de sal seja absorvida. Exemplos de queijos que passam por este tipo de salga: Edam, Gouda, Saint Paulin, Provolone.
- Salga a seco - cristais de sal seco são misturados com grãos de coalhada ou com lascas de coalhada moída antes da moldagem e prensagem. Exemplo: Cheddar, Cottage.
- Salga a seco de superfície - sal seco ou uma pasta de sal são colocados na superfície dos queijos. Exemplos: queijos azuis.

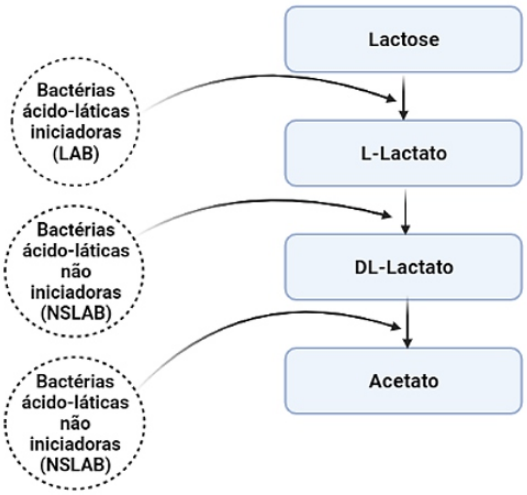
Após a salga, os queijos são secos e maturados.

Na maturação, vários eventos bioquímicos alteram as propriedades físicas e químicas do queijo, que incluem três reações principais: metabolismo da lactose residual, lactato e citrato; lipólise e metabolismo de ácidos graxos; e proteólise e catabolismo de aminoácidos, cujos produtos são modificados através de várias reações bioquímicas e, talvez, químicas. As principais reações são principalmente responsáveis pelas mudanças na textura e funcionalidade, enquanto o sabor é gerado principalmente através da modificação dos produtos das reações primárias (McSweeney, 2011).

Metabolismo da lactose residual, lactato e citrato

A concentração de lactato (ácido lático) varia entre as variedades de queijo. O destino do lactato no queijo depende dos tipos de microrganismos presentes (Figura 23). O lactato pode ser racemizado em DL-lactato por NSLAB ou convertido em butirato e H+ por *Clostridium sp*. o que leva à formação de fissuras e sabores estranhos. O piruvato, um intermediário no metabolismo da lactose, é o precursor para a produção de vários compostos aromáticos de cadeia curta, como o acetato, acetoína, diacetil, etanol e acetaldeído. O lactato também pode ser metabolizado em formiato, acetato e CO_2 por NSLAB, convertido em propionato, acetato, H_20 e CO_2 por *Propionibacterium* sp. como nos queijos suíços, ou simplesmente convertidos em CO_2 e H_2O por *Penicillium* sp. A metabolização do lactato é responsável pela acidificação do queijo e, portanto, uma das razões por trás da acidez de alguns tipos de queijo (Khattab, Guirguis, Tawfik, & Farag, 2019).

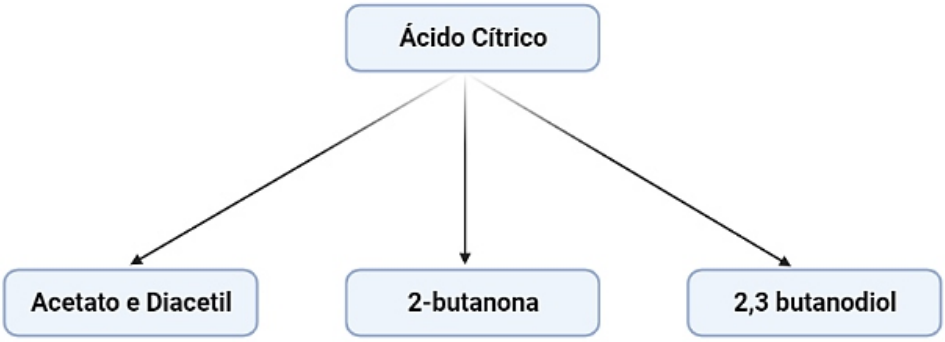
Figura 23 - Alterações bioquímicas glicolíticas: metabolismo da lactose residual e lactato.



Fonte: Adaptado de Khattab et al., 2019

O citrato residual na coalhada é metabolizado por algumas bactérias do ácido lático citrato-positivas, em vários compostos de aroma, a saber: acetoína, acetato, diacetil, 2- butanona e 2,3-butanodiol (Figura 24). O diacetil e o acetato contribuem com o sabor e o aroma dos queijos do tipo holandês. O CO_2 produzido pelo metabolismo do citrato é responsável pelas olhaduras características dos queijos do tipo holandês (Farkye, 2014).

Figura 24 - Alterações bioquímicas glicolíticas: metabolismo do citrato (ácido cítrico).



Fonte: Adaptado de Khattab et al., 2019.

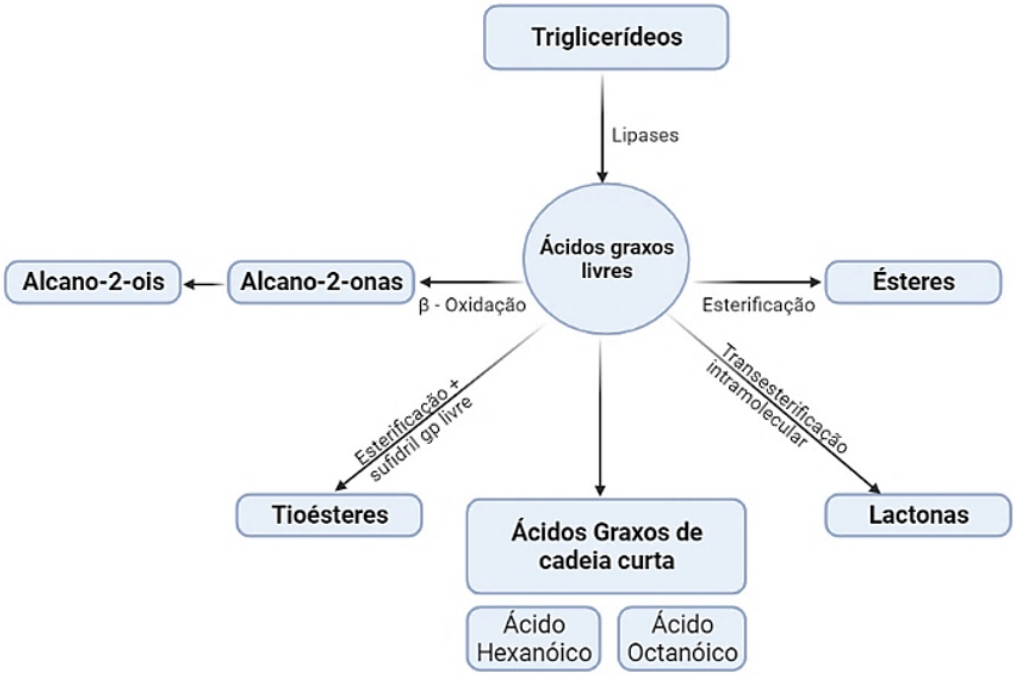
Lipólise e metabolismo de ácidos graxos

A hidrólise enzimática limitada dos triacilgliceróis de gordura do leite a ácidos graxos livres e glicerol, monoacilglicerídeos ou diacilglicerídeos é essencial para o desenvolvimento do sabor

típico no queijo (Figura 25). As enzimas envolvidas, lipases (EC 3.1.1.3) e esterases (EC 3.1.1.1), originam-se de várias fontes, incluindo o leite, bactérias iniciadoras, bactérias não iniciadoras e, em certos queijos, o coagulante (Broome, Powell, & Limsowtin, 2011).

A lipólise desempenha um papel importante na maturação do queijo, especialmente nas variedades curadas por fungos. O *Penicillium camemberti* secreta uma lipase extracelular, enquanto o *P. roqueforti* segrega dois tipos (ácidos e alcalinos) de lipases extracelulares que catalisam a hidrólise da gordura no queijo para produzir ácidos graxos livres. Os ácidos graxos livres são ainda oxidados para formar β-cetoácidos que são descarboxilados para metil cetonas. As metil cetonas são reduzidas ainda mais aos álcoois secundários (Farkye, 2014).

gura 25 - Alterações bioquímicas lipolíticas.

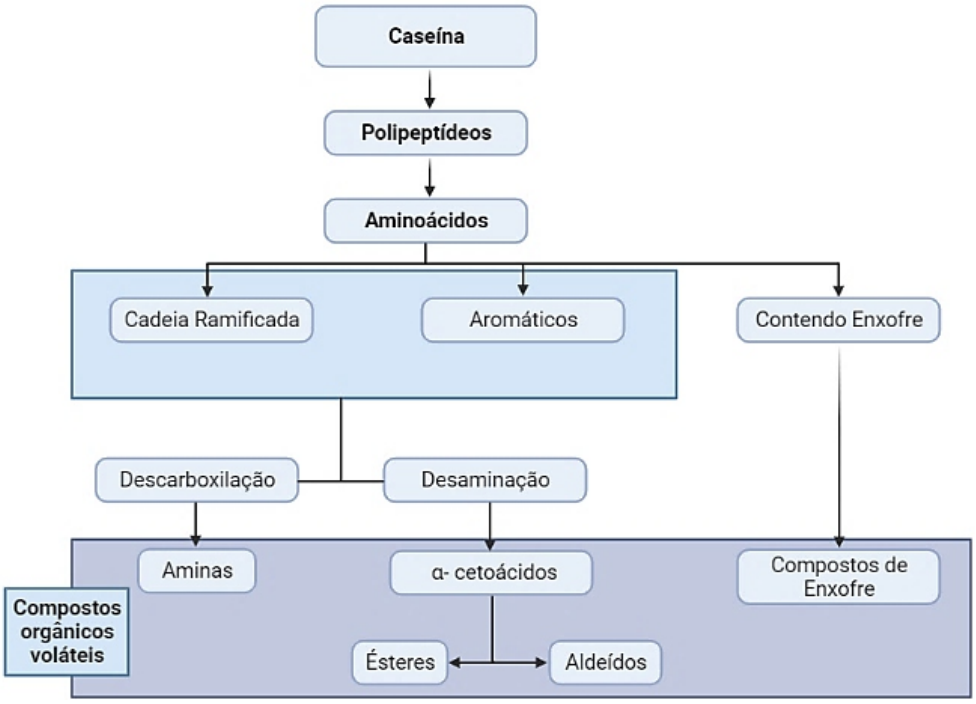


Fonte: Adaptado de Khattab et al., 2019

Proteólise e catabolismo de aminoácidos

A proteólise consiste no metabolismo da caseína do leite em peptídeos menores e aminoácidos livres através de proteinases e peptidases, que se originam do coagulante, do leite, de bactérias acido-láticas iniciadoras (LAB), bactérias acido-láticas não iniciadoras (NSLAB) e culturas secundárias. O processo de metabolização da caseína induz mudanças na textura do queijo. Proteinases e peptidases catalisam a clivagem das cadeias polipeptídicas para produzir aminoácidos livres que sofrem várias reações bioquímicas que resultam em compostos de sabor, como: aminas, aldeídos, ésteres, compostos sulfurados (Figura 26) (McSweeney, 2011; Khattab et al., 2019).

Figura 26 - Alterações bioquímicas proteolíticas.



Fonte: Adaptado de Khattab et al., 2019

6.6. Leites fermentados

De acordo com os Padrões de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados, aprovado pela Instrução Normativa nº46\2007, do MAPA, entende-se por Leites Fermentados os produtos adicionados ou não de outras substâncias alimentícias, obtidas por coagulação e diminuição do pH do leite, ou reconstituído, adicionado ou não de outros produtos lácteos, por fermentação lática mediante ação de cultivos de microrganismos específicos. Estes microrganismos específicos devem ser viáveis, ativos e abundantes no produto final durante seu prazo de validade (Brasil, 2007). A legislação classifica como leite fermentado os produtos como o Iogurte, o Leite Fermentado ou Cultivado, o Leite Acidófilo, o Kefir, o Kumys e a Coalhada (Brasil, 2007):

- Iogurte - produto cuja fermentação se realiza com cultivos protosimbióticos de *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* aos quais podem-se acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-láticas que, por sua atividade contribuem para a determinação das características do produto final.
- Leite Fermentado ou Cultivado - produto cuja fermentação se realiza com um ou vários dos seguintes cultivos: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacteriu sp. Streptococus salivarius subsp thermophilus* e/ou outras bactérias ácido-láticas que por sua atividade contribuem para a determinação das características do produto final.
- Leite Acidófilo - produto cuja fermentação se realiza exclusivamente com cultivos de

Lactobacillus acidophilus.

- Kefir - produto cuja fermentação se realiza com cultivos ácido-láticos elaborados com grãos de *Kefir, Lactobacillus kefir*, espécies dos gêneros *Leuconostoc, Lactococcus* e *Acetobacter* com produção de ácido lático, etanol e dióxido de carbono. Os grãos de *Kefir* são constituídos por leveduras fermentadoras de lactose (*Kluyveromyces marxianus*) e leveduras não fermentadoras de lactose (*Saccharomyces omnisporus* e *Saccharomyces cerevisae* e *Saccharomyces exiguus*), *Lactobacillus casei*, *Bifidobaterium sp.* e *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*.
- Kumys - produto cuja fermentação se realiza com cultivos de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e *Kluyveromyces marxianus*.
- Coalhada - o produto resultante da ação de fermentos lácticos mesofílicos individuais ou mistos produtores de ácido lático sobre o leite pasteurizado ou esterilizado.

Na Tabela 14 estão apresentadas as principais características dos leites fermentados.

Tabela 14 – Características dos principais leites fermentados produzidos no país.

	Iogurte	**Leite fermentado**	**Leite Acidófilo**	**Kefir**	**Kumys**	**Coalhada**
Microrganismo	*L. bulgaricus S. thermophilus*	*Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Bifidobacterium sp., Streptococcus thermophilus*	*L. acidophilus*	*L. lacticus L. caucasicus L. lactis S. kefir*	*L. bulgaricus Klyveromyces marxianus*	*L. lactis L. cremoris L. diacetylactis*
Matéria-prima	Leite padronizado	Leite	Leite	Leite, leite de cabra ou ovelha	Leite	Leite
Aquecimento	85ºC\30 min ou 90-95ºC\5min	85ºC\30 min ou 90-95ºC\5min	90-95ºC\5min	85ºC\30 min	90-95ºC\5min	85ºC\30 min ou 90-95ºC\5min
Temperatura de inoculação	42ºC	37 - 40ºC	37 - 40ºC	18 - 22ºC	26 - 28ºC	32 - 35ºC
Quantidade de inóculo	1,0%	A depender da cultura	5%	2%	10-30%	0,8%
Tempo de fermentação	4-8h	A depender da cultura	18-20h	18-24h	7h	8h
Acidez ou pH [1]	4,5-4,7	4,6-5,0	0,6-0,7% ácido lático 100ºD	1% ácido lático	4,5-5,2	4,6
Temperatura de armazenamento	5ºC	5ºC	10ºC	5ºC	4ºC	5ºC
Contagem de bactérias láticas totais (UFC\g)	Min. 10^7 *	Min. 10^6 *	Min. 10^7	Min. 10^7	Min. 10^7	Min. 10^6
Contagem de leveduras (UFC\g)	-	-	-	Min. 10^4	Min. 10^4	-
Acidez (g de ácido lático \ 100g de produto) [2]	0,6-1,5	0,6-2,0	0,6-2,0	<1,0	>0,7	0,6-2,0
Etanol (%m\v)	-	-	-	0,5-1,5	Min. 0,5	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2007) e Oliveira (2009).

Legenda: [1]acidez antes do resfriamento, [2]acidez no produto final, *No caso em que se mencione o uso de bifidobactérias, a contagem será de no mínimo 10^6 UFC de bifidobactérias/g.

No Brasil, há predominância na comercialização de iogurtes e leites fermentados. Os iogurtes são os produtos mais apreciados pelos consumidores, provavelmente devido às suas características sensoriais, em função disso, será abordado somente este processo de fabricação.

O iogurte pode ser classificado segundo vários critérios:

a) ***Quanto ao teor de gordura*** (Brasil, 2007):

- *Com creme:* min. de 6%
- *Integral:* min. de 3%
- *Parcialmente desnatado:* máx. 2,9%
- *Desnatado:* máx. 0,5%

b) ***Quanto a presença ou não de produtos\substâncias alimentícias*** (Brasil, 2007):

- *Sem adição*: produto cuja elaboração tenham sido utilizados exclusivamente ingredientes lácteos.
- *Com açúcar*: produto no qual os ingredientes opcionais sejam exclusivamente açúcares, acompanhados ou não de glicídeos (exceto polissacarídeos e poliálcoois) e\ou amidos ou amidos modificados e\ou maltodextrinas e\ou se adicionam substâncias aromatizantes\saborizantes.
- *Com adições:* quando em sua elaboração tenham sido adicionados ingredientes não lácteos, antes, durante e após a fermentação, até um máximo de 30% m\m.

c) ***Quanto aos ingredientes saborizantes*** (Brasil, 2007):

- *Iogurte Natural:* elaborado apenas com leite e microrganismos;
- *Iogurte com saborizantes/aromatizantes:* adicionado de essências, corantes e açúcar;
- *Iogurte com frutas:* adicionado de polpa ou frutas em pedaços.

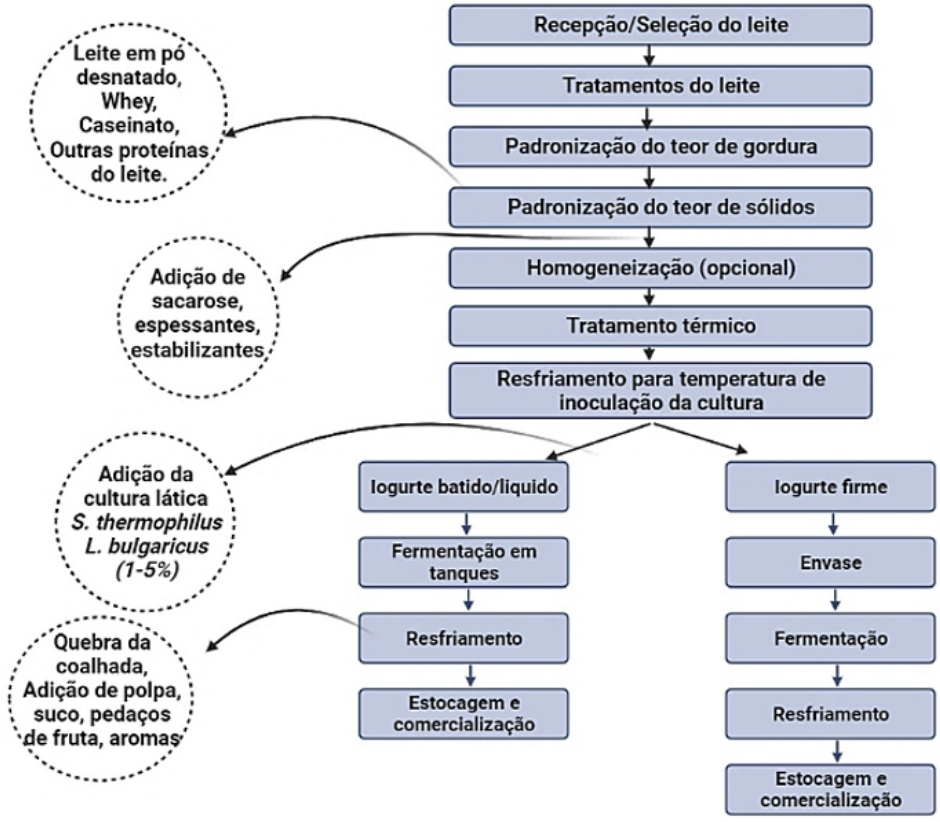
Normalmente, os produtos de iogurte são divididos em quatro tipos principais, com base na forma como são produzidos (Oliveira, 2009; Oliveira et al., 2017; Ordóñez, 2005; Corrieu & Béal, 2016; Tetra Pak, 2019):

- Iogurte tipo firme - o iogurte original, cuja fermentação ocorre na embalagem, criando uma textura firme.
- Iogurte tipo agitado ou batido – é fermentado em tanques na fábrica de laticínios, onde é agitado para obter uma aparência suave e homogênea, mas ainda viscosa.
- Iogurte tipo bebida, também chamado de líquido ou fluido - um iogurte no qual a viscosidade é reduzida para formar um produto que pode ser derramado, também adequado para o consumo "em movimento".
- Iogurte tipo concentrado - mais viscoso e geralmente mais cremoso, mas ainda liso e homogêneo. É também chamado de iogurte coado e, em alguns países, é comercializado como iogurte grego ou de estilo grego.

Para a fabricação do iogurte, conforme preconiza a legislação, configura ingredientes obrigatórios: Leite e/ou leite reconstituído padronizado em seu conteúdo de gordura. Cultivos de bactérias láticas e/ou cultivos de bactérias láticas específicas. Demais ingredientes opcionais e aditivos encontram-se estabelecidos no Regulamento de Identidade e Qualidade do Produto (Brasil, 2007).

O processo de produção dos iogurtes tipo firme, batido e líquido serão apresentados neste tópico. A fabricação desses produtos compreende as fases apresentadas na Figura 27.

Figura 27 – Etapas do processo de produção de iogurte.



Fonte: Autores (2021)

O leite utilizado deve ter acidez máxima de 18°D, ser isento de substâncias inibidoras (antibióticos, detergentes, sanitizantes, etc.), ter sabor e aroma normais, não ser proveniente de animais doentes e ter qualidade microbiológica. O leite deve passar por processos de filtração para retirada de sujidades e posterior clarificação (opcional), para remoção de partículas não retiradas com a filtração e redução da carga microbiana. A padronização do teor de gordura tem importância legal, pois o teor de gordura para fabricação do iogurte depende de sua classificação (integral, parcialmente desnatado, desnatado). A gordura melhora a textura, confere um sabor mais suave, mais aroma e cremosidade ao produto (Tenchini, 2016).

A padronização do teor de sólidos não gordurosos do leite visa aumentar o teor de proteínas da mistura, a fim de melhorar a firmeza do iogurte (textura) e reduzir sua sinérese. A adição de leite em pó, integral ou desnatado, é amplamente utilizada na indústria. Outros produtos lácteos com alto teor de proteína também podem ser empregados para a padronização do leite antes da fermentação, como o retentado de leite, o soro de leite (incluindo concentrado protéico de soro de leite), caseinatos, dentre outros. A concentração de leite por processos de membrana (ultrafiltração e osmose reversa) é um método alternativo para aumentar o teor de proteínas da mistura. (Corrieu & Béal, 2016).

O teor de sólidos não gordurosos do leite varia de 8,5 a 9,0%. No caso de iogurtes líquidos, o teor de sólidos não gordurosos é suficiente para a fabricação de um produto fluido, apesar de alguns ingredientes poderem ser adicionados com a finalidade de gerar viscosidade. Entretanto, o teor de sólidos não gordurosos não é suficiente para a obtenção de um iogurte firme ou batido que possa ser consumido de colher. Assim faz-se necessário a padronização dos sólidos do leite. (Ordónez et al., 2005).

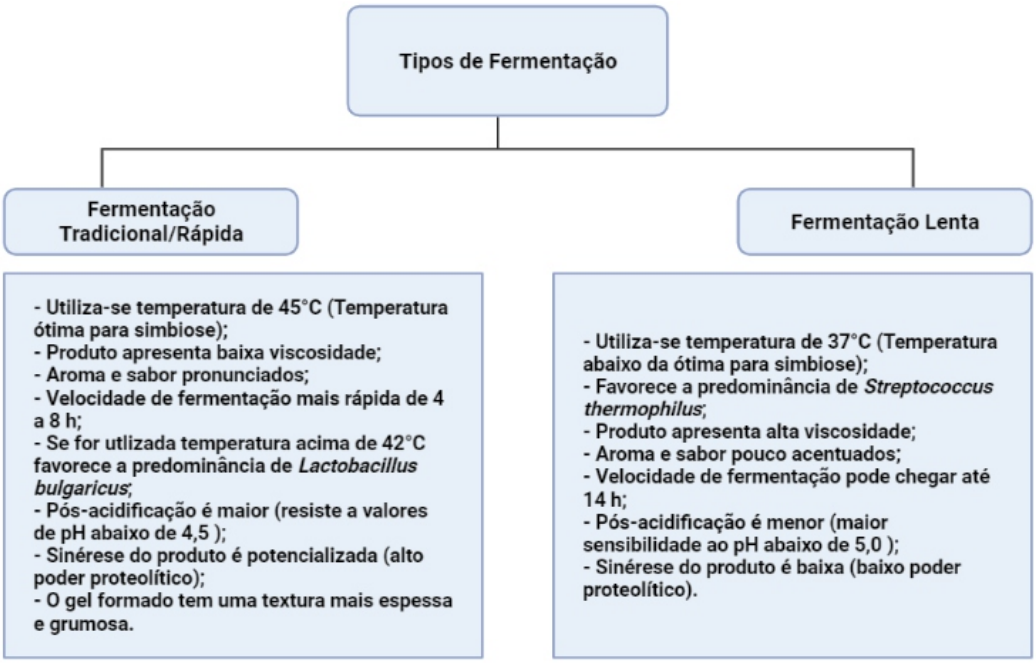
Após a padronização do teor de sólidos e antes do tratamento térmico, faz- se a adição de sacarose. A adição de sacarose também pode ser realizada via preparados de fruta, após a fermentação. Espessantes e estabilizantes podem ser utilizados, em determinados tipos de iogurte, respeitando-se os aspectos legais, com o objetivo de melhorar as características de textura, consistência e aparência (Oliveira, 2009).

A homogeneização do leite tem por finalidade promover uma dispersão homogênea dos constituintes da mistura-base de iogurte, aumentar a viscosidade e a estabilidade do iogurte, além de melhorar as qualidades sensoriais do produto. (Tenchini, 2016).

Segundo Tamine e Robinson (2000), o tratamento térmico do leite para produção de iogurte a uma temperatura entre 85ºC e 95ºC é suficiente para destruir células vegetativas de microrganismos presentes no leite cru. As combinações de tempo/temperatura mais utilizados para o tratamento térmico para produção de iogurte consiste na temperatura de 90-95ºC, com um tempo de residência de 5 minutos ou 85ºC, mantendo a temperatura por 30 minutos.Trocadores de calor de placas são geralmente usados e projetados para resfriar a mistura com precisão à temperatura de fermentação (entre 37 e 43 °C) (Corrieu & Béal, 2016). No processo em batelada é comum deixar passar água fria na camisa da fermenteira. O método irá depender do tipo de equipamento utilizado no tratamento térmico.

A etapa de fermentação é realizada a partir da inoculação da cultura, composta por uma mistura de *Streptococcus salivarus subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus.* A etapa de fermentação pode ser realizada na própria embalagem de comercialização para a produção de iogurte firme ou em fermenteiras para a produção de iogurte batido (agitado) e líquido (fluido). A escolha da temperatura de fermentação irá determinar as características desejáveis no produto final (Tenchini, 2016), conforme apresentado na Figura 28:

Figura 28 – Tipos de fermentação.



Fonte: Adaptado de Tenchini (2016).

A escolha do tipo de fermentação leva em conta a rotina da fábrica, riscos de defeitos e demanda dos consumidores.

Na microbiologia do processo, existe uma relação simbiótica. *Streptococcus thermophilus* inicia o desenvolvimento, cresce rapidamente até o leite atingir pH 5,5. Ocorre o consumo de oxigênio dissolvido, assim como a formação de substâncias ácidas e aminadas provenientes das proteínas do soro, que estimula o crescimento de *L. bulgaricus*. Este último começa a crescer, diminuindo o pH do leite e liberando mais aminoácidos para o meio, o que estimula o crescimento de *S. thermophilus*. Com o tempo, o ácido láctico acumulado reduz ainda mais o pH, e esse ambiente ácido começa a inibir o *S. thermophilus* (Oliveira, 2014).

Com o aumento da acidez, o pH se aproxima de 4,6, que é o ponto isoelétrico da proteína do leite, ocorrendo a formação do coágulo (Grandi, 2001). Ao final da fermentação, o coágulo deve apresentar pH entre 4,5 e 4,7.

Durante a fermentação da lactose, as bactérias produzem ácido lático e compostos aromáticos, como acetaldeído, diacetil, acetona, 2-butanona, diacetil e acetoína. O ácido lático é responsável pela acidez característica desse produto. O acetaldeído é o principal composto de sabor do iogurte e o *Lactobacillus bulgaricus* é o principal produtor. (Ordóñez et al., 2005).

A interrupção da fermentação é obtida pelo resfriamento do produto. Para fabricar um produto tipo firme, o resfriamento pode ser obtido pulverizando ar frio na sala de incubação ou transferindo as embalagens contendo os produtos para salas com ar condicionado a uma temperatura de aproximadamente 2–4 °C. Para produtos batidos (agitados) fermentados em tanques, o resfriamento é feito pela circulação de água fria (2 ° C) ao redor do equipamento.

A mistura de frutas e aromatizantes pode ser feita no tanque de mistura após a temperatura ter caído para 15–25 ° C, o produto é embalado e o resfriamento final é realizado diretamente na embalagem (Oliveira, 2014).

6.7. Bebida láctea

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de bebidas lácteas, do MAPA, aprovado pela Instrução Normativa nº 16/2005, entende-se por bebida láctea o produto lácteo resultante da mistura do leite (in natura, pasteurizado, esterilizado, UHT, reconstituído, concentrado, em pó, integral, semidesnatado ou parcialmente desnatado e desnatado) e soro de leite (líquido, concentrado e em pó) adicionado ou não de produto(s) ou substância(s) alimentícia(s), gordura vegetal, leite(s) fermentado(s), fermentos lácteos selecionados e outros produtos lácteos. A base láctea deve representar pelo menos 51% (cinquenta e um por cento) de massa/massa (m/m) do total de ingredientes do produto (Brasil, 2005).

Dentre os ingredientes obrigatórios para a produção de bebida láctea, pode-se citar o leite e o soro de leite. Para a bebida láctea fermentada deve-se utilizar cultivos de bactérias láticas, e/ou leite(s) fermentado(s). Como ingredientes opcionais lácteos, temos: creme; sólidos de origem láctea; manteiga, gordura anidra do leite ou *butter oil*, caseinatos alimentícios, proteínas lácteas, leitelho e outros produtos de origem lácteas; e como ingredientes opcionais não lácteos (isoladamente ou em combinação) pode-se utilizar: açúcares e/ou glicídios, maltodextrina, edulcorantes nutritivos e não nutritivos, frutas em pedaços/polpa/suco e outros preparados à base de frutas, mel, cereais, vegetais, gorduras vegetais, chocolate, frutas secas, café, especiarias e outros alimentos aromatizantes naturais e inócuos e/ou sabores, amidos ou amidos modificados, gelatina ou outros ingredientes (produto(s) ou substância(s) alimentícia(s)) (Brasil, 2005).Segundo o Regulamento a bebida láctea pode ser classificada de acordo com a adição ou não de substâncias alimentícias, de acordo com o tratamento térmico e quanto ao processo de fermentação, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Classificação da bebida láctea.

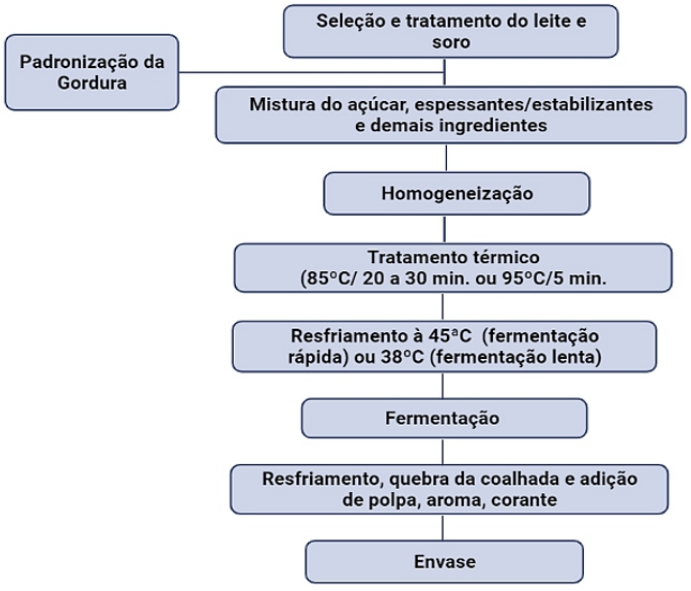
Classificação quanto à adição ou não de substâncias alimentícias		Classificação quanto ao tratamento térmico			Classificação quanto ao processo de fermentação	
Bebida láctea sem adição	Bebida láctea com adição	Bebida láctea pasteurizada	Bebida láctea esterilizada	Bebida láctea UAT ou UHT	Bebida láctea fermentada	Bebida láctea não fermentada
sem adição de produtos ou substâncias alimentícias. A base láctea representa 100%.	são adicionados produtos ou substâncias alimentícias. Apresenta pelo menos 51% de base láctea.	produto submetido a pasteurização (62 a 65ºC/ 30 min.) ou rápida (72 a 75ºC/15 a 20 s), seguido de resfriamento e envase.	é o produto embalado, submetido à vácuo direto ou indireto e convenientemente esterilizado pelo calor e imediatamente esterilizado.	é o produto submetido, durante 2 a 4 segundos, a uma temperatura entre 130 e 150ºC, imediatamente resfriado a uma temperatura de 32ºC e envasado sob condições assépticas.	bebida láctea mediante a ação de cultivo de micro-organismo específicos e/ou adicionado de leite(s) fermentado(s) e que não poderá ser submetido a tratamento térmico após a fermentação. A contagem total de bactérias lácticas viáveis deve ser no mínimo 10^6 UFC/g, no produto final, durante o prazo de validade.	não passa pelo processo de fermentação.

Fonte: Adaptado de Brasil (2005).

Atualmente, dois processos podem ser empregados na fabricação de bebida láctea fermentada:

- Fermentação da base da bebida láctea – esse processo é o mais utilizado na indústria, as etapas estão demonstradas na Figura 29 e os detalhes são apresentados após a figura;
- Produção de leite fermentado com adição posterior da base da bebida – esse processo parte da adição de um leite fermentado a uma base de soro e ingredientes. O açúcar, espessantes e estabilizantes são misturados ao soro, após a mistura passam pelas etapas de homogeneização, pasteurização e resfriamento. Após a mistura do leite fermentado com a base de soro, adicionam-se preparados de frutas, aromas, corantes ou outros ingredientes segundo a formulação e, então, procede-se ao envase, resfriamento e armazenamento (Damin, Sivieri, & Lannes, 2009).

Figura 29 – Etapas do processo de produção de bebida láctea fermentada.



Fonte: Autores (2021)

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Bebidas Lácteas define que a base láctea deve representar pelo menos 51 % (m/m) do total de ingredientes do produto, no mínimo, 2 % (m/m) de matéria gorda de origem láctea e de 1 a 1,7 % (m/m) de proteína láctea, conforme a classificação do produto (Brasil, 2005). No entanto, a relação de soro é um pouco aleatória, não sendo definida uma concentração mínima ou máxima de adição de soro nas formulações, ficando a critério da indústria adicionar a concentração que atenda aos requisitos físico-químicos apresentados pela legislação. Segundo Freire et al. (2017), para obtenção de um produto com características adequadas, recomenda-se a adição de no máximo 50 % de soro sob o volume final da bebida.

O soro utilizado na fabricação de bebida láctea deve ter acidez máxima de 13 °D, ser isento de substâncias inibidoras (antibióticos, detergentes, sanitizantes, etc.) e não conter água de lavagem de massa. Deverá ser filtrado para eliminação de partículas de massa e submetido a tratamento térmico a 70°C/15 minutos visando a inativação de enzimas coagulantes residuais, provenientes da fabricação de queijos (Freire et al., 2017). O leite utilizado deve ter acidez máxima de 18 °D, ser isento de substâncias inibidoras (antibióticos, detergentes, sanitizantes, etc.) (Brasil, 2018).

O leite e o soro devem passar pelo processo de filtração para retirada de sujidades maiores e no caso do soro para eliminação de partículas em suspensão (como pedaços de massa de queijo). O leite poderá passar por um processo de clarificação para remoção de células epiteliais, eritrócitos e leucócitos ou qualquer outra partícula em suspensão superior a 10 μm (Tamine & Robinson, 1991).

Segundo o Regulamento técnico de identidade e qualidade, as bebidas lácteas devem apresentar, no mínimo, 2g de matéria gorda de origem láctea em 100 g de bebida (Brasil, 2005). Portanto, o teor de gordura do leite deve ser padronizado com o objetivo de se obter o teor de gordura desejado no produto final.

Após a mistura do leite e do soro, ocorre a adição de outros ingredientes alimentícios, incluindo-se a sacarose. A adição de soro proporciona uma redução no teor de sólidos, o que torna necessário o uso de aditivos na forma de espessantes e/ou estabilizantes para manter a viscosidade e a estabilidade do gel. Após a dispersão destes e demais ingredientes, realiza-se a etapa de homogeneização (Freire et al., 2017).

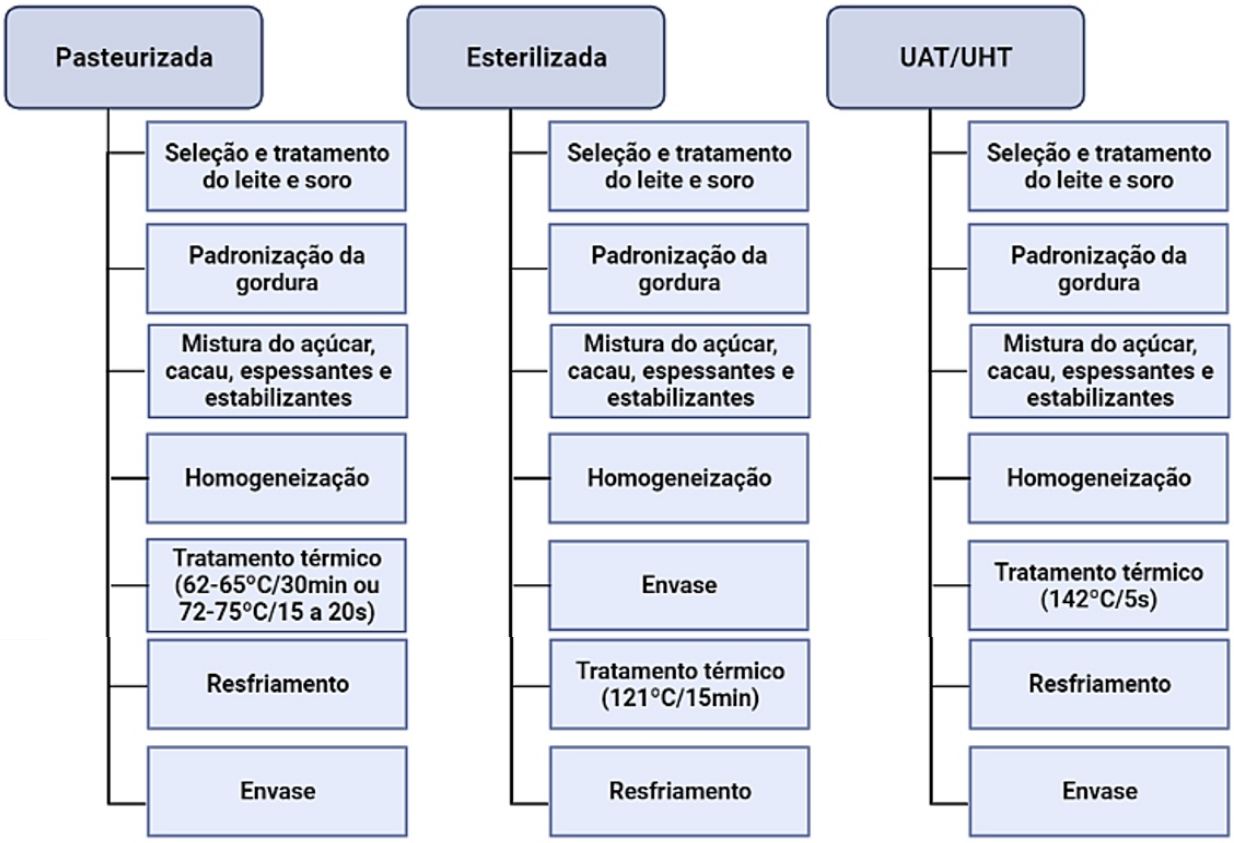
O processo de homogeneização (ver item 5.1.7) afeta diversas propriedades do produto, tais como: evita a separação de gordura durante a fermentação ou armazenamento; melhora a distribuição homogênea da gordura; aumenta a firmeza do coágulo; melhora a consistência e viscosidade; reduz a sinérese; o produto fica mais cremoso; e ainda, aumenta a digestibilidade (Brandão, 1995).O tratamento térmico tem como principal finalidade a destruição dos microrganismos patogênicos, porém, para a bebida láctea fermentada os mesmos objetivos apresentados para o iogurte podem ser considerados para a bebida, assim como os binômios utilizados de 80 °C por 30 minutos ou 90 °C de 2 a 5 minutos podem ser considerados.

O processo de produção de bebidas lácteas fermentadas inclui o emprego das bactérias láticas tradicionais do iogurte *Streptococcus salivarus subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* e, recentemente, as bactérias láticas probióticas ganham destaque no desenvolvimento de novos produtos (Damin et al., 2009). O processo de fermentação ocorre como na produção de iogurte (ver tópico Leites fermentados). As bactérias convertem a lactose em ácido lático, promovendo uma diminuição do pH até o ponto isoelétrico das caseínas (4,6), onde ocorre a coagulação.

O resfriamento do coágulo começa imediatamente após alcançar a acidez ótima do produto, pH de 4,6 ou 0,9 % de ácido lático. O objetivo básico do resfriamento é diminuir a temperatura do coágulo de 30-45 °C para menos de 10 °C para cessar a atividade do fermento (Tamine & Robinson, 2000).

As bebidas achocolatadas são o principal produto dentro da classe de bebidas lácteas não fermentadas, em função disso, o processo de produção desta bebida será apresentado a seguir. O processo de produção da bebida achocolatada até a homogeneização segue o mesmo procedimento de fabricação da bebida láctea fermentada, após a homogeneização ocorre a diferenciação de acordo com o tratamento térmico aplicado, conforme apresentado na Figura 30.

Figura 30 – Etapas do processo de produção de bebida láctea achocolatada.



Fonte: Autores (2021).

Após a mistura do leite, soro, cacau em pó, açúcar, espessantes e estabilizantes, ocorre a homogeneização e posteriormente o tratamento térmico. O processamento da bebida láctea achocolatada pode ser dividido segundo o tratamento térmico em:

- Pasteurizada
- Esterilizada
- UAT/UHT

Para produção de bebida láctea pasteurizada, a mistura é submetida à pasteurização lenta (62 a 65°C/ 30 min.) ou rápida (72 a 75°C/15 a 20 s), seguido de resfriamento e envase. A bebida láctea esterilizada é embalada antes do tratamento térmico, posteriormente é submetida à vácuo direto ou indireto e convenientemente esterilizado pelo calor. No processo UAT/UHT a bebida é submetida, durante 2 a 4 segundos, a uma temperatura entre 130 e 150°C, imediatamente resfriado a uma temperatura de 32°C e envasada em embalagens estéreis.

Enquanto as condições de pasteurização efetivamente eliminam os microrganismos patogênicos potenciais (pois não é suficiente para eliminar esporos termorresistentes), a esterilização refere-se à completa eliminação de todos os microrganismos. Na esterilização comercial, processo que ocorre na produção UAT/UHT, o produto não é necessariamente livre de todos os microrganismos, mas aqueles que sobrevivem no processo não se desenvolvem durante o armazenamento (Damin et al., 2009).

6.8. Leite em pó

Segundo o Regulamento técnico Mercosul de identidade e qualidade do leite em pó, do MAPA, aprovado pela Instrução Normativa nº53/2018, leite em pó é o produto que se obtém por desidratação do leite de vaca, integral, desnatado ou parcialmente desnatado e apto para a alimentação humana, mediante processos tecnologicamente adequados (Brasil, 2018d).

O leite em pó pode ser classificado de acordo com o conteúdo de gordura em "leite em pó integral", "leite em pó parcialmente desnatado", ou "leite em pó desnatado", de acordo com teor de gordura correspondente. O produto que apresenta no máximo 16,0 % e no mínimo 14,0 % de gordura poderá, opcionalmente, ser denominado "leite em pó semidesnatado". De acordo com a sua umectabilidade e dispersabilidade, pode ser classificado em instantâneo ou não, conforme Tabela 16.

Tabela 16 – Classificação e requisitos físico-químicos para o leite em pó

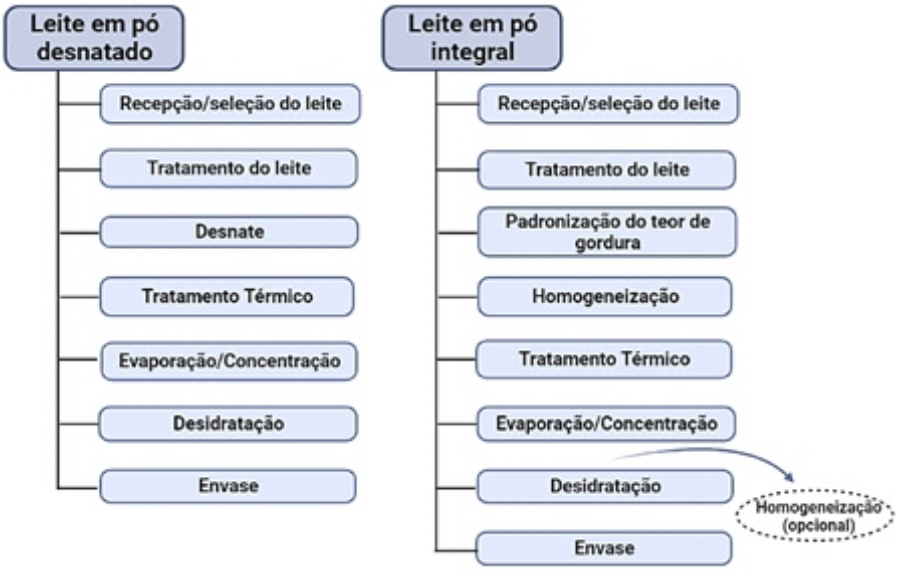
Requisitos	Integral	Parcialmente desnatado	Desnatado
Gordura (% m/m)	≥26,0	entre 1,5 e 26,0	≤ 1,5
Umidade (% m/m)	máximo 5,0	máximo 5,0	máximo 5,0
Teor de proteínas do leite no extrato seco desengordurado (% m/m)	mínimo 34	mínimo 34	mínimo 34
Acidez titulável (mL NaOH 0,1 N/10g sólidos não gordurosos)	máximo 18	máximo 18	máximo 18
Índice de insolubilidade (mL)	máximo 1,0	máximo 1,0	máximo 1,0
Partículas queimadas (máximo)	Disco B	Disco B	Disco B
Para leite em pó instantâneo			
Umectabilidade (s)	máximo60	máximo 60	máximo 60
Dispersabilidade (% m/m)	mínimo 85	mínimo 85	mínimo 85

Fonte: Autores (2021).

Na elaboração do leite em pó, são admitidos aditivos e coadjuvantes de tecnologia desde que autorizados em legislação específica e desde que harmonizados no MERCOSUL (Brasil, 2018d).

Na Figura 31 podem ser observadas as etapas para a produção do leite em pó.

Figura 31 – Etapas da produção de leite em pó.



Fonte: Autores (2021).

Após a recepção, o leite pode ser clarificado ou tratado em bactofugas para reduzir a contaminação por partículas e bactérias. Atualmente, a técnica de microfiltração é utilizada para a fabricação de pós de baixo tratamento térmico com cargas bacterianas muito baixas (Kalyankar et al., 2016).

Para a produção de leite em pó desnatado, o desnate se faz obrigatório e para a produção de leite parcialmente desnatado ou integral a padronização da gordura é etapa primordial para obtenção do teor de gordura desejado no produto final (Chaves et al., 2017).

Para a produção de leite em pó, o leite não deve ser submetido a um tratamento térmico excessivo, pois ocorre a desnaturação das proteínas do soro. Essa desnaturação compromete a solubilidade, o aroma e sabor do leite em pó. O leite destinado para a produção de leite em pó desnatado deve receber pelo menos um tratamento térmico equivalente à pasteurização, para um ensaio de fosfatase negativo. Na produção de leite em pó integral o tratamento térmico deverá ser suficiente para inativação das lipases do leite, pode-se utilizar um tratamento térmico de 80-85ºC por 15 a 20 segundos (Tetra Pak, 2015).

Para determinar a qualidade do leite em pó, o critério mais utilizado é o índice de nitrogênio de proteínas do soro não desnaturadas WPNI (*whey protein nitrogen index*), o qual é mensurado a partir do teor (em miligramas) de nitrogênio de proteínas do soro não-desnaturadas (*undenaturated whey protein nitrogen* – WPN) por miligrama de pó ou mililitro de leite fluido (Patel et al., 2007). Se não há desnaturação, o índice é de aproximadamente 9. Quanto mais o WPNI se distancia de 9, mais intensa foi a desnaturação das proteínas do soro, e as características de reconstituição do leite em pó serão piores (Chaves et al., 2017).

O leite em pó desnatado é classificado quanto ao tratamento térmico em baixo tratamento, médio tratamento e alto tratamento. A classificação é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 - Classificação do leite em pó segundo o tratamento térmico

Classificação do produto	WPNI (mg WPN.mL^{-1})	Tratamento térmico
Baixo tratamento	≥ 6,0	75ºC/20s
Médio tratamento	1,5 - 5,99	85 ºC – 105 ºC/ 1 min.- 2min.
Alto tratamento	< 1,5	120-135 ºC/2 min.- 3min
Alto tratamento – estável ao aquecimento	< 1,5	125 ºC-135 ºC / 2 min.- 6min.

Fonte: adaptado de Perrone, Oliveira, & Faria (2008).

A evaporação é usada para concentrar o leite antes da secagem e pode ser combinada com osmose reversa. A evaporação é realizada em evaporadores a vácuo de múltiplos efeitos. O leite concentrado é geralmente seco pelo método de secagem por rolo ou secagem por pulverização. As diferenças na concentração de sólidos totais são determinadas pela técnica de secagem utilizada: 30–35 % de sólidos totais para secagem de rolos e 45–50 % de sólidos totais para secagem por pulverização. No caso da secagem por rolos, o leite concentrado entra em contato direto com a superfície do tambor quente, resultando em um

leite de qualidade inferior, tendo aplicação mais restrita como a utilização em ração animal. Em função disso abordaremos a secagem por pulverização (Schuck, 2011; Kalyankar et al., 2016).

A homogeneização não é uma operação obrigatória. Para o leite seco em atomizador, o leite não necessita ser homogeneizado, desde que completamente agitado, sem a incorporação de ar, antes da evaporação e entre a evaporação e a secagem. O concentrado será homogeneizado para a produção de leite em pó integral instantâneo (Tetra Pak, 2015).

A secagem por pulverização ou atomização consiste em pulverizar o leite concentrado em forma de gotículas muito pequenas ou de névoa no interior de uma câmara de secagem onde circula uma corrente de ar quente, a uma temperatura de entrada de 150 ° a 220 °C, em paralelo ou em sentido oposto a trajetória das gotículas, segundo os diferentes tipos de câmaras de dessecação. A rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas, em torno de 75 °C, de maneira que a alta temperatura do ar de secagem, em torno de 150 °C, não afeta demasiadamente o produto (Amiot, 1991; Tetra Pak, 2015).

As propriedades de reidratação do leite em pó produzido pelo processo de pulverização podem ser melhoradas através da produção de um pó instantâneo por meio da aglomeração. A aglomeração fornece a estrutura de agregados porosos, que se dispersam fácil e rapidamente sem agitação vigorosa para produzir leite reconstituído estável. Uma aglomeração eficaz pode ser obtida por métodos de *rewet* ou *straight-through* (Schuck, 2011; Kalyankar et al., 2016):

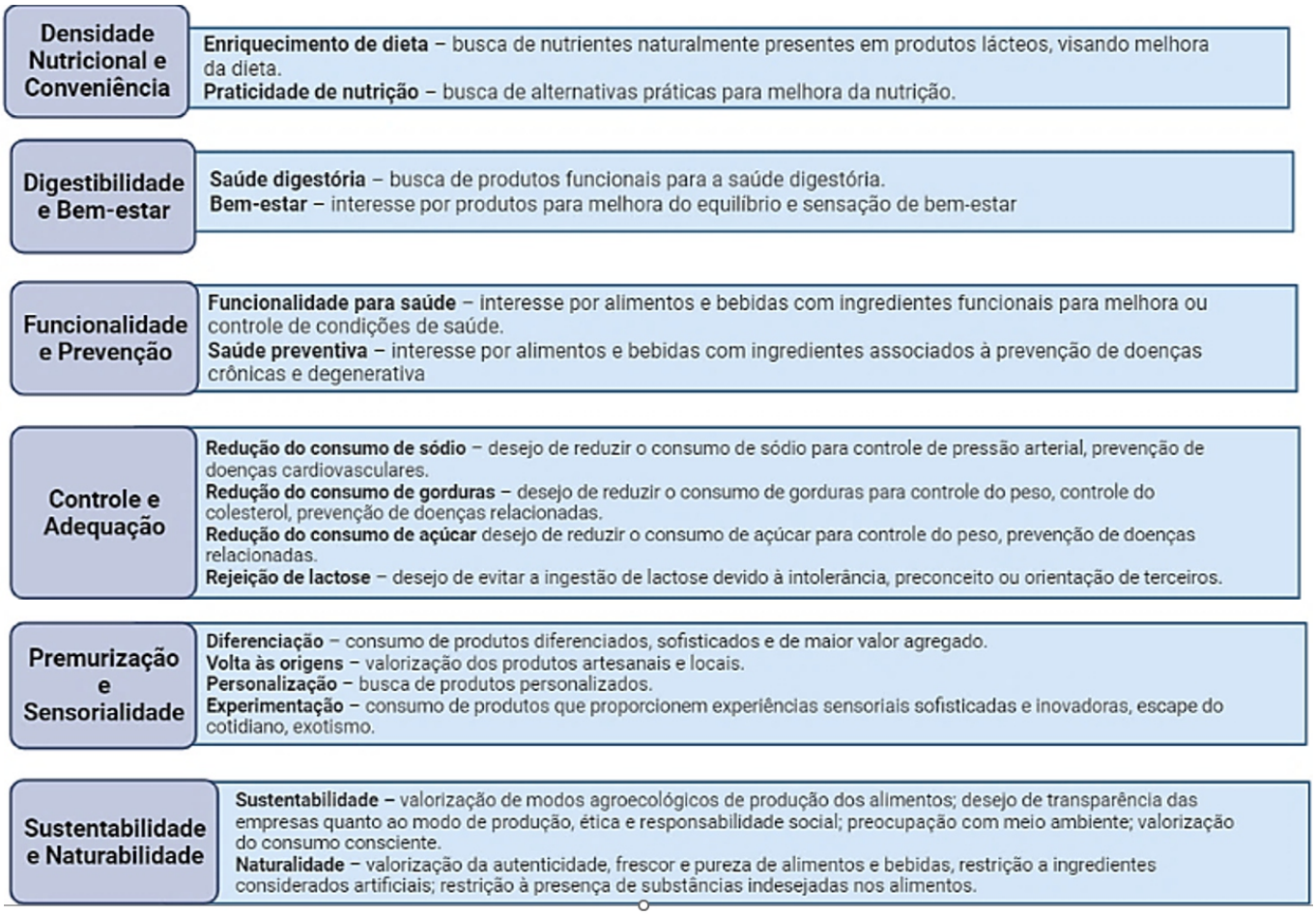
- ***Rewet***: método de reumidificação, a instantaneização é realizada após a obtenção do pó na forma seca.
- ***Straight-through***: a instantaneização é realizada durante a secagem.

7. Tendências e inovação na área de lácteos

7.1. Inovação em Produtos

Na última edição do Brasil Dairy Trends 2020, foram apresentadas as principais tendências do consumo de produtos lácteos, identificando plataformas de inovação para as empresas do setor. Conforme o estudo, os pesquisadores categorizaram os conjuntos de tendências de consumo em seis macrotendências: Densidade Nutricional e Conveniência, Digestibilidade e Bem-Estar, Funcionalidade e Prevenção, Controle e Adequação, Premiumização e Sensorialidade, e Naturalidade e Sustentabilidade (Rego et al., 2017), conforme demonstra a Figura 32.

Figura 32 – Macrotendências do consumo de produtos lácteos.



Fonte: Rego et al. (2017).

7.1.1.Probióticos

Diante destas macrotendências, observa-se que os consumidores estão cada vez mais preocupados com sua saúde. Além de produtos com redução e/ou substituição de sódio, açúcar, gordura e lactose, fortificados em vitaminas, minerais e mais recentemente

proteínas, vem surgindo o aumento da procura por alimentos conhecidos como funcionais. Os alimentos funcionais são aqueles que oferecerem vários benefícios à saúde, além do valor nutritivo inerente à sua composição química, podendo desempenhar um papel potencialmente benéfico na redução do risco de doenças crônicas degenerativas (Neumann, Abreu, Torres, & Silva, 2000 e Taipina, Fonts, & Cohen, 2002). Entre as substâncias conhecidas como funcionais, se destacam os probióticos.

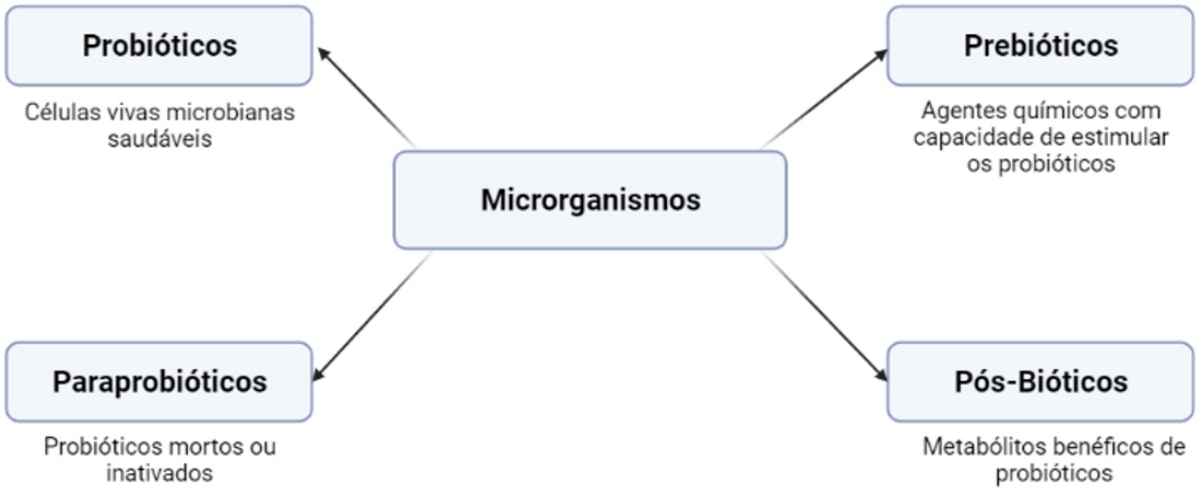
Os "probióticos" são micro-organismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem um benefício à saúde do indivíduo (Brasil, 2018g).

A indústria de laticínios é a que apresenta maior possibilidade de crescimento no fornecimento de produtos funcionais, em especial no segmento de leites fermentados, iogurtes e bebidas lácteas através da utilização de culturas probióticas.

7.1.2.Novas tendências em probióticos

Como apresentado no item anterior, o conceito oficial de probióticos indica que a viabilidade das células bacterianas representa uma condição essencial para garantir os efeitos benéficos à saúde do hospedeiro. No entanto, nos últimos anos novos conceitos vêm sendo reconhecidos, porque alguns mecanismos e benefícios clínicos não estavam diretamente relacionados aos microrganismos vivos (Aguilar-Toalá et al., 2018). Assim, novas nomenclaturas como paraprobióticos e pós-bióticos (Figura 33) foram criadas para denotar que as células bacterianas não viáveis, partes microbianas ou restos celulares, quando administrados em doses corretas, também podem atuar como promotores de saúde (Barros et al., 2020).

Figura 33 – Classes de microrganismos com efeito benéfico.



Fonte: Autores (2021).

Paraprobióticos

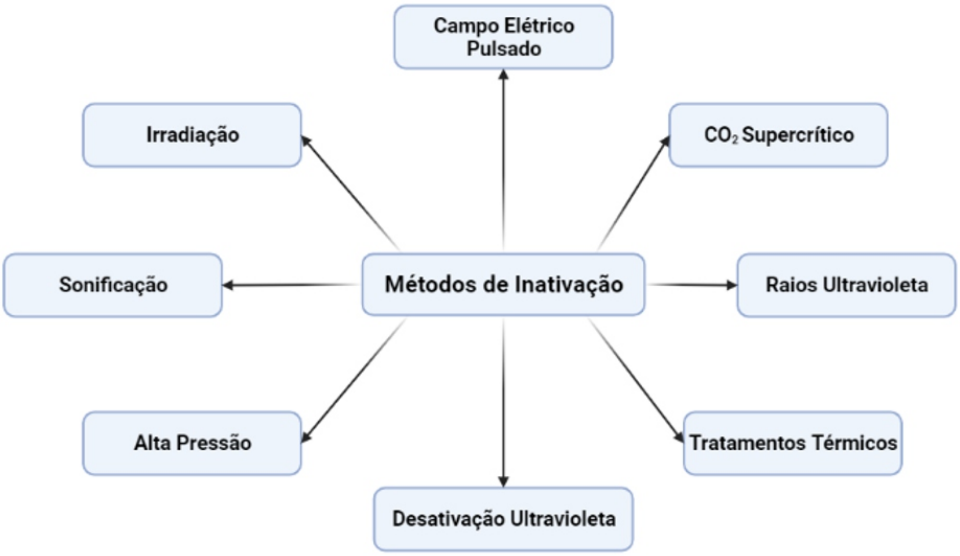
Paraprobióticos, também chamados de probióticos inativos, probióticos não viáveis ou probióticos fantasmas, são definidos como células microbianas não viáveis (intactas ou rompidas) ou extratos celulares brutos (com composição química complexa), que quando administrados em quantidades adequadas, conferem algum benefício ao consumidor (Taverniti & Guglielmetti, 2011; Tsilingiri & Rescigno, 2013; Aguilar-Toalá et al., 2018; Barros et al.,2020).

Portanto, são microrganismos que tiveram sua viabilidade comprometida após serem submetidos a processos que induziram alterações estruturais e metabólicas às células bacterianas (Almada, Almada, Martinez, & Sant'Ana, 2016).

Apesar dos benefícios comprovados dos probióticos para a saúde, as células microbianas não viáveis podem ter vantagens de segurança sobre os probióticos, reduzindo o risco de translocação microbiana, infecção ou respostas inflamatórias aumentadas, para alguns probióticos em consumidores com sistema imunológico desequilibrado ou comprometido (Taverniti & Guglielmetti, 2011; Almada et al., 2016; Khaled, 2021).

Os paraprobióticos podem ser obtidos a partir da inativação de microrganismos probióticos por meios físicos (irradiação, UV, sonicação, dentre outros) ou químicos (desativação ácida) (Figura 34), que podem alterar as estruturas das células microbianas ou suas funções fisiológicas, tornando as bactérias incapazes de crescer e, portanto, reter os efeitos benéficos para a saúde que sua forma viável proporciona (Almada et al., 2016).

Figura 34- Métodos de inativação das células bacterianas.



Fonte: Autores (2021).

Vale ressaltar que a inativação das células probióticas não garante necessariamente sua morte (as células podem ser viáveis, mas não ativas). Além disso, algumas células podem ser ativas em uma matriz, mas inativas em outra. Em outras palavras, a célula microbiana pode ser *viável, mas não cultivável* (Almada et al., 2016; Cuevas-González, Liceaga, & Aguilar-Toalá, 2020). No entanto, nos casos em que as estruturas bacterianas de probióticos não viáveis podem ter uma atividade biológica no hospedeiro, os paraprobióticos podem então ser referidos como pós-bióticos (Almada et al., 2016).

Pós-bióticos

A palavra "pós-bióticos" é usada atualmente para se referir a compostos bioativos, que não se encaixavam nas definições tradicionais de probióticos, prebióticos e paraprobióticos. Portanto, a definição de pós-bióticos pode ser expandida para fatores solúveis bioativos (produtos ou subprodutos metabólicos) produzidos por microrganismos de qualidade alimentar durante o crescimento e fermentação em cultura microbiológica complexa (neste caso, denominado sobrenadante livre de células [CFS]), alimento ou intestino, que exerce alguns benefícios para o alimento ou hospedeiro, (b) compostos celulares e (c) substâncias produzidas pela ação de microrganismos em ingredientes alimentares (por exemplo, peptídeosbioativos) (Aguilar-Toalá et al., 2018; Barros et al., 2020; Cuevas-González et al., 2020; Almada et al., 2016).

Os pós-bióticos, em geral, podem ser encontrados naturalmente em vários alimentos fermentados ou ser extraídos *in situ* das cepas produtoras, que incluem espécies bacterianas e fúngicas (principalmente cepas de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, mas também *Streptococcus, Akkermansia muciniphila, Eubacterium hallii, Faecalibacterium* e *Saccharomyces boulardii*) (Taverniti & Guglielmetti, 2011, Collado, Vinderola, & Salminen, 2019)

Devido aos efeitos benéficos fisiológicos promovidos pelos pós-bióticos, os mesmos podem ser classificados em categorias distintas de acordo com estes benefícios como atividades antiinflamatórias, antioxidantes, anti-hipertensivas, antimicrobianas, hipocolesterolêmicas e imunomoduladoras, ou por sua composição, que pode ser derivada tanto de compostos celulares bacterianos, quanto da ação microbiana (síntese de metabólitos e produtos da atividade enzimática microbiana sobre a matriz alimentar) (Shigwedha, Sichel, Jia, & Zhang 2014, Collado et al., 2019, Barros et al., 2020).

As associações dos pós-bióticos aos efeitos benéficos à saúde adquiridos com o consumo de alimentos fermentados estão relacionadas às estruturas microbianas e metabólitos produzidos durante a fermentação. Em geral, os pós-bióticos possuem várias propriedades atrativas, como estruturas químicas claras, parâmetros de dosagem de segurança e vida útil mais longa (Shigwedha et al., 2014, Tomar, Anand, Sharma, Sangwan, & Mandal., 2015, Aguilar-Toalá et al., 2018). Além disso, segundo Shenderov (2013), os pós-bióticos têm capacidade favorável de absorção, metabolismo, distribuição e excreção, indicando alta capacidade de sinalizar diferentes órgãos e tecidos do hospedeiro, provocando diversas respostas biológicas.

Os pós-bióticos podem imitar os efeitos dos probióticos na saúde humana, evitando a administração necessária de microrganismos vivos, que podem nem sempre ser inofensivos, conferindo aos mesmos aplicabilidades prática e funcionalidade como uma estratégia proeminente para o tratamento de muitas doenças (Haileselassie, Navis, Vu, Qazi, & Rethi, 2016; Tsilingiri & Rescigno, 2013; Aguilar-Toalá et al., 2018).

Os principais meios de obtenção dos pós-bióticos são técnicas de ruptura celular, como calor, tratamentos enzimáticos, extração com solvente e sonicação (Lee, Zang, Choi, Shin, & Ji, 2002; Li et al., 2012; Amaretti et al., 2013; Tiptiri-Kourpeti et al., 2016; Aguilar-Toalá et al., 2018). Além disso, as etapas adicionais de extração e limpeza, como centrifugação e purificação têm sido usadas para auxiliar os procedimentos de obtenção (Vidal, Donnet-Hugues, & Granato, 2002; Aguilar-Toalá et al., 2018).

Psicobióticos

Segundo Dinan, Stanton e Cryan (2013) psicobióticos ou parapsicobióticos são como microrganismos vivos (probióticos) que, ao serem ingeridos em quantidades adequadas, promovem efeitos benefícios para a saúde em pacientes que sofrem de doenças psiquiátricas por meio de interações com a microbiota intestinal. Sendo os psicobióticos introduzidos para designar as espécies bacterianas probióticas com propriedades psicotrópicas, agindo como portadores de compostos neuroativos e classificados como uma subcategoria de probióticos (Parmar, 2016; Barros et al., 2020).

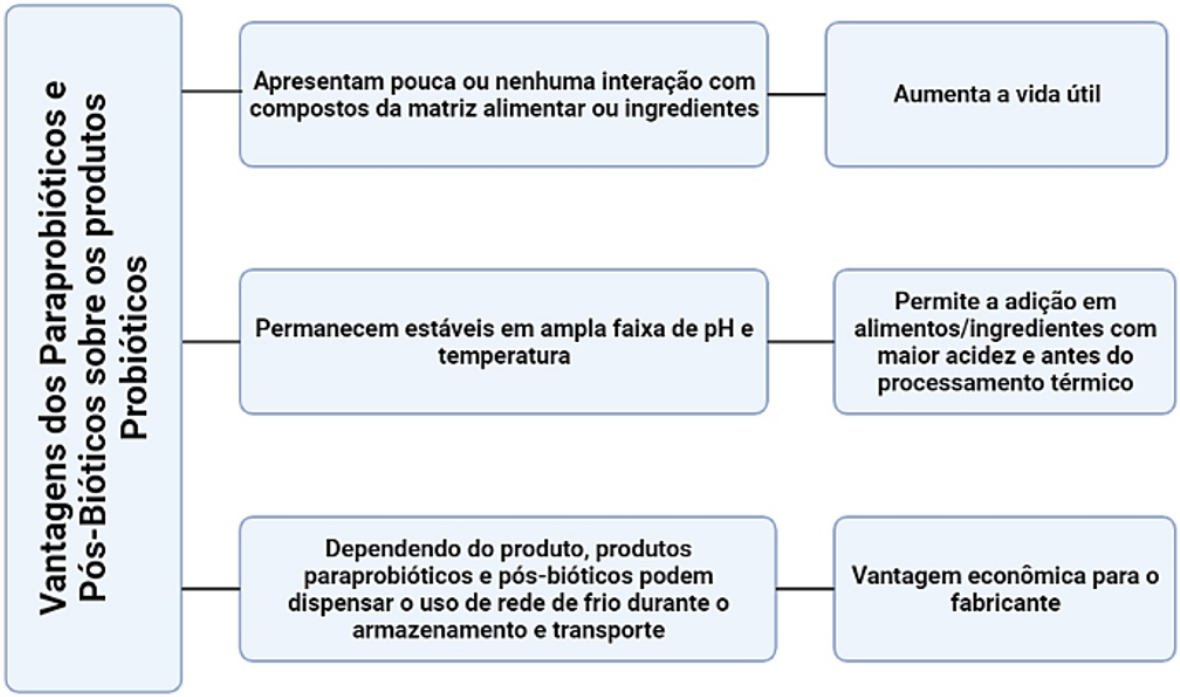
Segundo Lyte (2011) os probióticos funcionam mecanicamente como veículos de entrega de compostos neuroativos e esses probióticos têm o potencial de atuar como agentes psicotrópicos, onde certas cepas de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* secretam substâncias neurotransmissoras como o ácido gama-aminobutírico, que atua na regulação de diversos processos fisiológicos e psicológicos, como disfunção do sistema que implica na ansiedade e depressão (Schousboe & Waagepetersen, 2007; Dinan et al., 2013).

Normalmente é direcionada a pacientes com transtornos psiquiátricos, devido aos seus efeitos ansiolíticos e antidepressivos. Sendo os termos aplicados aos psicobióticos e afirmações encontradas ainda serem escassas, é restrigida atualmente somente a comunidade científica, uma vez que suas ações e mecanismos ainda não são bem compreendidos (Dinan et al., 2013; Parmar, 2016; Barros et al., 2020).

Aplicações em lácteos

Os laticínios suplementados com paraprobióticos e pós-bióticos são mais simples e convenientes em relação ao manuseio e comercialização industrial quando comparados aos probióticos. Na Figura 35 estão apresentadas as vantagens dos paraprobióticos e pós-bióticos sobre os produtos probióticos.

Figura 35 - Vantagens dos paraprobióticos e pós-bióticos sobre os produtos probióticos.



Fonte: Adaptado de Barros et al., 2020

Sawada e colaboradores (2016) avaliaram os efeitos benéficos do *Lactobacillus gasseri* CP2305 (CP2305) esterilizado como um "paraprobiótico" na função gastrointestinal de indivíduos que consumiram uma bebida à base de leite fermentado. O CP2305 teve um efeito benéfico na regulação da função intestinal, o que levou a inferir que o CP2305 inativado pelo calor funcionou como um "paraprobiótico".

O paraprobiótico Lactobacillus gasseri CP2305 também apresentou melhora dos sintomas de estresse e qualidade do sono, caracterizando um parapsicobiótico de alívio do estresse em humanos (Nishida et al., 2017).

Zeng, Jiang, Zhu e Chu (2016) relataram um iogurte contendo paraprobióticos (de *Lactobacillus bulgaricus, Streptoccus thermophilus* e *L. acidophilus*), que evitou a interrupção da função de barreira epitelial intestinal em células Caco-2 intestinais humanas.

Além das vantagens terapêuticas mencionadas, alguns pós-bióticos podem ser adicionados intencionalmente devido às suas funções tecnológicas, que afetam positivamente as características físico-químicas e sensoriais do produto final, proporcionando melhor estabilidade, textura e palatabilidade (Barros et al., 2020).

Usando deste princípio, Yuhara, Matsubara, Santos e Garcia (2014) adicionaram duas bactérias láticas probióticas produtoras de exopolissacarídeos (EPS) na produção de

queijo tipo quark. O queijo Quark produzido apresentou altas contagens de bactérias láticas probióticas e presença de EPS.

Sobre esta aplicação, Han et al. (2016) e Ali et al. (2019) relataram que exopolissacarídeos produzidos por *Streptococcus thermophilus zlw* TM11 e *Lactobacillus delbrueckii spp.*, respectivamente, conseguiram superar o problema da sinérese (menor separação do soro), além de proporcionar melhor textura e propriedades sensoriais durante o preparo do iogurte. O uso de exopolissacarídeos é uma alternativa aos aditivos alimentares sintéticos (viscosificantes, texturizantes e emulsificantes).

Pós-bióticos têm propriedades benéficas, servindo como agentes de biocontrole para a garantia de segurança de produtos lácteos. A este respeito, foi relatado o papel de diferentes bacteriocinas (Ávila, Gómez-Torres, Hernández, & Garde, 2014) e bactérias ácido-láticas produtoras de bacteriocinas (Bogovič Matijašić, Koman Rajšp, Perko, & Rogelj, 2007) para controlar o defeito de estufamento em queijo.

Hamad, Botros e Hafez (2017) adicionaram os pós-bióticos liofilizados de três cepas probióticas (*Lactobacillus Acidophilus* [EMCC 1324], *Bifidobacterium bifidum* [EMCC 1334] e *Lactobacillus plantarum* [EMCC 1845]) em queijo feta macio e descobriram que a utilização da mistura de todas as cepas (1%) foi eficaz no controle de patógenos de origem alimentar.

7.2. Clean Label

As tendências de saudabilidade e sustentabilidade levaram os consumidores a se preocupar cada vez mais com os ingredientes dos alimentos que consomem. Isso levou a uma nova tendência em produtos alimentícios, que muitas vezes é resumida sob a denominação de *clean label* que no português são conhecidos como produtos de "rótulo limpo".

Até o momento, não há uma definição estabelecida, objetiva e comum do que é um “rótulo limpo”, mas sim várias definições ou interpretações, muitas vezes fornecidas por relatórios de tendências de mercado, mas não apoiadas por pesquisas ou teorias de comportamento do consumidor (Osborne, 2015).

A Ingredion (2014) define que “um 'rótulo limpo' posicionado na embalagem significa que o produto pode ser classificado como 'natural', 'orgânico' e/ou 'livre de aditivos/conservantes'”.

Os chamados pulse ingredientes têm sido utilizados no desenvolvimento de produtos inovadores e contribuem para a tendência *clean label*.

Segundo Nachay (2017) os pulse ingredients são sementes desidratadas de leguminosas, incluindo feijões, ervilhas, lentilhas e grão-de-bico, altamente nutritivos, com várias funcionalidades tecnológicas.Zare, Champagne, Simpson, Orsat, & Boye (2012) utilizaram pulse ingedients com o objetivo de aumentar as propriedades nutricionais do iogurte. Todos os ingredientes utilizados para a suplementação melhoraram a taxa de acidificação das culturas probióticas.

Outro exemplo para produto lácteo *clean label* são os leites UHT. Algumas empresas têm lançado leites UHT sem aditivos, sem a inclusão de citrato de sódio (estabilizante). Isso é possível quando o leite é transportado por curtas distâncias, possibilitando seu processamento térmico, em geral, em um período entre 24 e 48 horas após a ordenha. Com isso, as proteínas se mantêm estáveis, não necessitando de estabilizante (Fontes, 2021).

7.3. Leite A2

As caseínas compreendem 80% de proteínas do leite e são divididas em três tipos principais (α, β e κ-caseína). A β-caseína representa aproximadamente 30% do total de proteínas, podendo estar presente como duas diferentes variantes de acordo com a genética do animal: β-caseína A1 e A2. Recentemente estas variáveis vêm ganhando crescente interesse de pesquisadores e consumidores, estimulando uma nova tendência no mercado de laticínios (Barbosa et al., 2019; Mendes, Morais & Rodrigues, 2019).

Nem todas as vacas produzem os dois tipos de caseína. Na verdade, existem três genótipos possíveis: o genótipo A1A1 determina que o animal produza apenas a β-caseína A1; vacas com o genótipo A2A2 produzem somente o tipo A2; e vacas com o genótipo A1A2 produzem os dois tipos. O tipo de β-caseína produzido é totalmente dependente da genética de cada animal, e os mesmos genes também podem estar presentes nos touros reprodutores (Fontes, 2019).

Com base nessas variantes, o leite pode ser classificado em dois tipos: A1 e A2, dependendo da presença de prolina ou histidina na 67ª posição da β-caseína. Essa diferença produz um grande efeito em termos da liberação da chamada beta-casomorfina-7 (BCM7), que é a principal responsável por desencadear o processo alérgico (Haq, Kapila, Shandilya, & Kapila, 2014).

Mendes e colaboradores (2019) avaliaram os efeitos da β-caseína A2 nas características sensoriais dos queijos *Petit Suisse* e Minas e a opinião do consumidor brasileiro sobre os produtos A2. Ambos os produtos apresentaram boa aceitação sensorial, o que indica que o leite A2 pode ser promissor para a inovação láctea. Segundo os autores, os consumidores brasileiros relataram não ler os rótulos e as informações sobre o tipo de leite com frequência, portanto, observaram que é importante projetar programas de marketing, especialmente para produtos A2, visando grupos populacionais específicos.Nguyen, Schwendel, Harland & Day (2018) relataram diferenças significativas nas propriedades físico-químicas e microestruturais do leite A2 em comparação com o leite A1. O leite A2 apresentou uma maior proporção de cálcio iônico livre, capacidade de formação de espuma aumentada, maior tempo para ocorrer a formação de gel do iogurte, microestrutura mais porosa e filamentos de proteína mais finos em comparação com o gel de iogurte de leite com β-caseína A1, indicando a importância das variantes β-caseína nas propriedades físico-químicas do leite e produtos lácteos.

Segundo Barbosa et al. (2019) as revisões realizadas sobre o assunto em questão não apresentam um consenso sobre as vantagens do consumo do leite A2, mas alerta para a possibilidade da β-casomorfina-7 (BCM-7), resultante da hidrólise da variante genética A1 da β-caseína, resultar em desconforto intestinal não relacionado especificamente à lactose. Em paralelo, ressalta-se a importância da obtenção e processamento de leite de gado geneticamente caracterizado como A2/A2 como alternativa dietética para indivíduos com histórico de alergia ao leite.

8. Inovação em processos

8.1. Processo de separação por membranas

A indústria de laticínios vem em busca de novos processos visando o aperfeiçoamento de tecnologia e ou surgimento de novos produtos. Exemplo disso é a utilização de processos utilizando membranas, enzimas e tecnologias inovadoras para conservação do leite e seus derivados.

A tecnologia de membranas revolucionou o setor de laticínios. Dentre os processos de separação por membranas tem-se Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Reversa (OR). A microfiltração utiliza membranas porosas com diâmetro médio de poros na faixa de 0,1 a 10 µm. A microfiltração do leite permite a retenção de células somáticas, glóbulos de gordura, bactérias e micelas de caseína. As pressões empregadas como força motriz são pequenas e dificilmente ultrapassam 3 bar, já que utilizam membranas com poros maiores. A ultrafiltração utiliza membranas com poros de diâmetro na faixa entre 0,01 e 0,1 µm. Como os poros das membranas são menores, é necessária uma maior força motriz, as diferenças de pressão através da membrana variam na faixa de 2 a 10 bar. A nanofiltração utiliza membranas com poros de tamanho médio de 1 nm. Nesta operação, a lactose e todos os outros componentes do leite são retidos, o que permite a permeação de íons monovalentes solúveis e água. Já as membranas usadas na osmose reversa retêm solutos de tamanhos inferiores a 1 nm e possuem uma massa molar de corte de aproximadamente 100 Da, sendo densas, ou seja, sem poros. A operação envolve pressões, em média, cinco a dez vezes superiores às utilizadas na ultrafiltração, sendo empregada em indústrias de laticínios para concentrar o leite ou soro de leite por eliminação de água e sais minerais (Habert, 2006).

A tecnologia de separação por membranas pode ser utilizada pela indústria de lácteos para diversos fins, como redução do número de microrganismos, aumentando, dessa forma, a qualidade, segurança e vida de prateleira do leite e de seus produtos através da utilização de microfiltração (Correia, Maubouis, & Carvalho. 2011; Goff & Griffiths, 2006; Skrzypek & Burger, 2010; Saboya & Maubois, 2000), fracionamento e purificação de componentes do leite especialmente proteínas (Correia et al. 2011).

A microfiltração pode ser utilizada na indústria de laticínios para remoção de gordura do soro de leite e tratamento de salmouras (Correia et al., 2011).

A aplicação do processo de ultrafiltração de leite para fabricação de queijos surgiu em 1969 na França, através de um processo denominado M.M.V. em homenagem aos inventores Maubois, Mocquot e Vassal (1969). Na indústria do queijo, as membranas aumentam o rendimento e a qualidade do queijo e controlam o volume do soro (Kumar et al., 2013).

O processamento de soro de leite foi uma das primeiras aplicações das técnicas de membrana na indústria de laticínios. A ultrafiltração para concentração de proteínas do soro de leite origina os isolados protéicos, tais como WPC (*Whey Protein Concentrate*) ou WPI (*Whey Protein Isolate*) (Pouliot, 2008).

A indústria de laticínios ainda é grande produtora de águas residuais. Neste contexto, as tecnologias de membrana têm permitido não só a redução do volume e da poluição gerada por essa água utilizada, mas também a reciclagem de uma parte significativa da água do leite. A osmose reversa é utilizada na dessalinização, no reuso e no tratamento de águas (Correia et al., 2011).

Além do supracitado, métodos de separação por membranas são utilizados industrialmente para reduzir o teor da lactose no leite e para produção de derivados lácteos destinados aos consumidores que apresentam intolerância à lactose. Além do processo enzimático, a combinação de hidrólise enzimática com separação por membranas são métodos utilizados visando a remoção ou redução da lactose em leite (Faedo, Brião, Castoldi, Girardelli, & Milani, 2013) ou em soro de leite (Atra et al., 2005).

Na Tabela 19 são apresentados alguns produtos com teor reduzido ou sem lactose disponíveis no mundo, bem como os métodos utilizados para a retirada ou redução da lactose.

Tabela 19 – Tipos de produtos lácteos disponíveis no mundo com baixo teor ou sem lactose.

Marcas	Empresa	Produtos	Método de remoção ou redução da lactose
Liddells	Murray Gouldbum Austrália	Leite, queijo, creme, iogurte	Enzimático
Lactaid	McNeilNutritionals USA	Leite, queijo cottage, sorvete	Enzimático
Land O Lakes Dairy Ease	Land O Lake Inc. USA	Leite	Enzimático
H-E-B Mootopia	H-E-B Co. USA	Leite	Membrana + Enzimático
Hiland	Hiland Dairy USA	Leite	Enzimático
Hyla, Eila	Valio Finlândia	Leite, leite em pó, queijo, manteiga, iogurte	Membrana + cromatográfico

Fonte: Hu & Dikson (2015)

8.2. Tecnologias emergentes

A indústria de alimentos tem procurado suprir os anseios do consumidor por produtos mais saudáveis, frescos, palatáveis, livres de aditivos e microbiologicamente seguros investindo em tecnologias emergentes e mais "limpas", que não utilizam calor ou que o apliquem de forma moderada (Chawla, Patil, & Singh, 2011).

Dentre estas novas tecnologias (tecnologias emergentes), Jermann, Koutchma, Margas, Leadley e Ros-Polskib (2015) elencaram doze tecnologias inovadoras para conservação de alimentos. As quais pode-se citar: processamento a alta pressão; campo elétrico pulsado; luz ultravioleta; aquecimento por micro-ondas; irradiação; infravermelho; aquecimento ôhmico; ozônio; pressão e CO_2; ultrassonografia de potência; plasma atmosférico frio e água eletrolisada. O princípio de cada tecnologia está sumarizado na Figura 36.

Figura 36 – Tecnologias inovadoras

Processamento por alta pressão (HPP)	Caracteriza-se por utilizar pressões acima de 600 Mpa a temperatura ambiente para inativar formas vegetativas de bactérias, fungos e leveduras. O processo também pode inativar esporos quando combinado com altas temperaturas. Este tipo de processamento permite maior retenção da qualidade nutricional e sensorial dos alimentos, sejam líquidos ou sólidos, quando comparado ao processo térmico tradicional.
Aquecimento por micro-ondas	Uso de energia eletromagnética em frequências específicas (915 e 2450 MHz) para aquecer alimentos. A profundidade de penetração das micro-ondas nos alimentos permite aquecimento mais rápido e uniforme.
Luz ultravioleta	Nos comprimentos de onda de 200 a 280 nm, a luz ultravioleta produz radiação não ionizante com propriedades germicidas. Esta propriedade é usada como alternativa não térmica para redução da contaminação em água, alimentos fluidos e outros ingredientes, e também pode ser usada no tratamento de superfícies.
Irradiação	Processo físico de tratamento, que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitária, fitossanitária e/ou tecnológica. Este tratamento pode aumentar o prazo de validade dos produtos, uma vez que normalmente destrói bactérias e bolores responsáveis pela deterioração.
Campo elétrico pulsado	Processo que envolve a aplicação de alta voltagem (20 a 80 kV/cm) a alimentos situados entre dois eletrodos. Da mesma forma que a HPP, destrói bactérias vegetativas, fungos e leveduras, mas não destrói esporos e não é efetivo contra muitas enzimas.
Infravermelho	Caracteriza-se pelo aquecimento de materiais por radiação electromagnética com um comprimento de onda de 1,3 a 4,0 μm (radiação infravermelha). pode ser utilizado para estender a validade comercial dos alimentos, destruindo enzimas e microrganismos e reduzindo a atividade de água.
Aquecimento ôhmico	O princípio básico do aquecimento ôhmico é a passagem de corrente elétrica alternada de baixa freqüência (50 a 60 Hz) através do alimento, gerando calor devido à resistência elétrica do mesmo.
Ozônio	O ozônio é uma forma triatômica do oxigênio. Com o objetivo de conservar os alimentos, o ozônio pode ser usado na forma gasosa. Quando comparado ao cloro, o ozônio é um potente sanitizante, que se decompõe rapidamente e não forma alguns dos subprodutos formados pela cloração como os trialometanos. Em contrapartida, em altas concentrações, pode promover a rancificação oxidativa.
Pressão CO2	Também conhecido como dióxido de carbono em fase densa, CO2 líquido, CO2 supercrítico ou dióxido de carbono pressurizado. É um sistema contínuo de porcessamento não térmico para alimentos líquidos que utiliza pressão em combinação com dióxido de carbono para destruir microrganismos como meio de preservação de alimentos.

Ultrassonografia de potência	Caracteriza-se pela utilização de alta potência de ondas sonoras na frequência de aproximadamente 20 kHz. Seus vários usos incluem emulsificação, homogeneização, modificação de viscosidade e textura, descontaminação microbiana, cristalização, limpeza e extração. É usado principalmente em fluidos e fluidos contendo partículas.
Plasma atmosférico frio	Também conhecido como plasma não térmico. Tais plasmas são boas fontes de espécies oxidativas e redutoras altamente reativas. Vem sendo estudado para descontaminação de alimentos que não podem ser sanitizados por tratamento químico ou em superfícies frágeis.
Água eletrosilada	Conhecida como água oxidante eletrolisada, água eletro-ativada ou solução de água ativada eletroquimicamente , é produzida pela eletrólise de uma solução salina fraca, o que produz hipoclorito de sódio, um sanitizante. Pode ser usada na limpeza de superfícies ou sanitização de frutas e legumes.

Fonte: Costa, Deliza, & Rosenthal (1999); Brazil (2016); Jermann et al. (2015); Novaes, Conte-Junior, Franco, & Mano (2012).

Jermann e colaboradores (2015) investigaram o potencial de utilização das novas tecnologias em vários setores da indústria de alimentos. Para o setor lácteo, as técnicas que promovem a oxidação lipídica não apresentaram potencial para a comercialização (ozônio, CO_2). O aquecimento por infravermelho e a radiação são utilizados para o tratamento superficial de alimentos ou superfícies, o que não é de interesse para o setor lácteo. O ultrassom de potência pode ser usado no setor lácteo para diminuir a viscosidade do leite concentrado que entra no ciclone para produzir leite em pó. Em contrapartida, as novas tecnologias apontadas como promissoras para o setor lácteo, em ordem decrescente, foram: o processamento a alta pressão, aquecimento por micro-ondas, campo elétrico pulsado, luz ultravioleta e aquecimento ôhmico.

Dentre as principais tecnologias inovadoras aplicadas à indústria de lácteos, destaca-se a alta pressão, também conhecida como processamento a alta pressão hidrostática ou alta pressão hidrostática. Em termos gerais, o processamento a alta pressão é uma forma de preservar alimentos sem o uso de calor; geralmente consiste em submeter o alimento a pressões hidrostáticas de até 700 MPa por períodos de alguns minutos. Este tratamento inativa microrganismos vegetativos e algumas enzimas à temperatura ambiente, enquanto as vitaminas, a cor e o aroma permanecem inalterados. No entanto, a inativação de esporos bacterianos somente é possível quando aplicado com alta temperatura (> 60°C), no qual consiste o processamento térmico a alta pressão (Olivier et al., 2011).

Processos envolvendo produtos lácteos e alta pressão têm sido extensivamente estudados para ampliar os conhecimentos sobre os efeitos da tecnologia nos principais microrganismos deteriorantes e patogênicos (Bozoglu, Alpas, & Kaletunç, 2004, Castellví, Roig-Sagués, Capellas, Hernández-Herrero, & Guamis, 2005, Guan, Chen, & Hoover, 2005, Huppertz, Fox, Kruif, & Kelly, 2006, Trujillo, Capellas, Saldo, Gervilla, & Guamis 2002) nos constituintes do leite (Chawla, Patil, & Singh, 2011, López-Fandiño, 2006) e melhora das características de textura de produtos lácteos (Penna, Subbarao-Gurram, & Barbosa-Cánovas, 2007, Tsevdou & Taoukis, 2011).

As tecnologias inovadoras de processamento de alimentos, também referidas como tecnologias "emergentes" ou "novas", podem contribuir para estender a vida útil de produtos alimentícios. Segundo Jermann et al. (2015), o fator que limita claramente a disseminação de tecnologias emergentes é seu custo e a falta de aprovação regulatória têm atrasado uma implementação mais ampla dessas tecnologias em escala industrial.

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A cadeia produtiva do leite é uma das atividades mais importantes para o agronegócio brasileiro, especialmente na geração de emprego e renda. Observa-se que a cadeia láctea não tem medido esforços para a evolução da produção leiteira, atualização das legislações e modernização do parque industrial de laticínios que têm trazido novos produtos, processos e tecnologias, embora não disponíveis a todos.

Aliado ao supracitado o mercado consumidor têm ditado o crescimento desse segmento na busca por produtos diferenciados. Produtos com apelo funcional, que ostentam rótulos limpos e claros e ricos em proteínas vêm abrindo caminho para novas oportunidades de desenvolvimento neste espaço.

Na busca pelo desenvolvimento no campo e nas indústrias, o setor deve se deparar com a forte vertente socioambiental, o crescimento na demanda por alternativas baseadas em vegetais e leites produzidos em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar-Toalá, J. E., Garcia-Varela, R., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., González- Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field, Trends in Food Science & Technology, 75, 105-114.

Ali, K., Mehmood, M. H., Iqbal, M.A., Masud, T., Qazalbash, M. & Saleem, S. (2019). Isolation and characterization of exopolysaccharide-producing strains of Lactobacillus bulgaricus from curd. Food Science & Nutrition, 1-7.

Almada, C. N., Almada, C. N., Martinez, R. C. R. & Sant'Ana, A. S. (2016). Paraprobiotics: evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods, Trends in Food Science & Technology, 58, 96-114.

Amaretti, A., di Nunzio, M., Pompei, A., Raimondi, S., Rossi, M. & Bordoni, A. (2013). Antioxidant properties of potentially probiotic bacteria: In vitro and in vivo activities. Applied Microbiology and Biotechnology, 97 (2), 809-817.

Amiot, J. (1991). Ciencia y tecnologia de la leche: principios y aplicaciones. Zaragoza: Acribia, p. 1-30.

Andrén, A. (2011). Cheese | Rennets and Coagulants. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1 (2), 574–578.

Associação Brasileira de Supermercados - ABRAS. (2020). Consumo de produtos lácteos, como o leite, cresce na pandemia. Recuperado em 18 junho, 2021, de https://www.abras.com.br/clipping/marketing/71851/consumo-de-produtos-lacteos-como-o-leite-cresce-na-pandemia.

Atra, R., Vatai, G., Bekassy-Molnar, E. & Balint, A. (2005). Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. Journal of Food Engineering, 67 (3), 325-332.

Ávila, M., Gómez-Torres, N., Hernández, M., & Garde, S. (2014). Inhibitory activity of reuterin, nisin, lysozyme and nitrite against vegetative cells and spores of dairy-related Clostridium species. International Journal of Food Microbiology, 172, 70–75.

Barbosa, M. G., Souza, A. B., Tavares, G.M., & Antunes, A. E. C. (2019). Leites A1 e A2: revisão sobre seus potenciais efeitos no trato digestório Segurança Alimentar e Nutricional, 26, 1-11.

Barros, C. P., Guimarães, J. T., Esmerino, E. A., Duarte, M. C. K. H., Silva, M. C., Silva, R., Ferreira, B. M., Sant'Ana, A. S., Freitas, M. Q. & Cruz, A. G. (2020). Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products. Current Opinion in Food Science, 32, 1-8.

Beloti, V. (2015). Leite: obtenção, inspeção e qualidade. Londrina: Editora Planta, 417.

BogovičMatijašić, B., Koman Rajšp, M., Perko, B., & Rogelj, I. (2007). Inhibition of Clostridium tyrobutyricum in cheese by Lactobacillus gasseri. International Dairy Journal, 17(2), 157–166.

Bozoglu, F., Alpas, H., & Kaletunç, G. (2004). Injury recovery of foodborne pathogens in high hydrostatic pressure treated milk during storage. FEMS Immunology and Medical Microbiology, 40 (3), 243-247.

Brandão, S. C. C. (1995). Tecnologia da produção industrial de iogurte. Leite & Derivados, 5 (25), 24 -38.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2020). Decreto nº 10.468, de 18 de agosto de 2020. Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2007). Instrução Normativa MAPA n°46, de 23 de outubro de 2007 - Regulamento Técnico de identidade e Qualidade de Leites Fermentados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2005). Instrução Normativa MAPA n°16, de 23 de agosto de 2005 - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Bebida Láctea. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2018a). Instrução Normativa nº 77 de 26 de novembro de 2018. Estabelece os critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2000). Instrução Normativa nº 4, de 28 de junho de 2000. Instituir o produto denominado 'Manteiga Comum", para comercialização exclusiva no território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2018b). Instrução Normativa nº 76 de 26 de novembro de 2018. Aprova o Regulamento Técnicos de Identidade Qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2001). Instrução Normativa nº 30, de 26 de junho de 2001. Aprova o Regulamento Técnicos de Identidade Qualidade de Manteiga da Terra ou Manteiga de Garrafa; Queijo de Coalho e Queijo de Manteiga. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. (2018c). Instrução Normativa nº 47 de 26 de outubro de 2018. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade que deve apresentar o leite condensado. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

Brasil. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018d). Instrução Normativa nº 53 de 01 de outubro de 2018. Aprova o Regulamento Técnico Mercosul de Identidade e Qualidade do Leite em Pó. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (1996). Portaria nº 146 de 07 de março de 1996. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Produtos Lácteos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (1997). Portaria nº 354, de 4 de setembro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Doce de Leite. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018e). Projeções do Agronegócio Brasil 2017/18 a 2017/28. 2018e. Recuperado em 03 junho, 2019, de http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/PROJECOES2018_FINALIZADA_web_05092018.pdf/view.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2018f). Valor Bruto da Produção Agropecuária. Brasília, DF. Recuperado em 13 maio, 2021, de http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp.

Brasil. Ministério da Saúde - MS (2018g). RDC Nº 241, de 26 de julho de 2018, Dispõe sobre os requisitos para comprovação da segurança e dos benefícios à saúde dos probióticos para uso em alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Brasil, F. S. (2016). Novas tecnologias no processamento de alimentos: tendências para o futuro. Recuperado em 14 julho, de https://foodsafetybrazil.org/novas-tecnologias-no-processamento-de-alimentos-tendencias-para-o-futuro/.

Broome, M. C., Powell, I. B., & Limsowtin, G. K. Y. (2011). Cheese | Starter Cultures: Specific Properties. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1 (2), 559–566.

Cardoso, R. R. (2006). Influência da microbiota psicrotrófica no rendimento de queijo Minas Frescal elaborado com leite estocado sob refrigeração. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Carvalho, A. F. & Maubouis, J. L. (2010). Applications of membrane technologies in the dairy industry. In: Coimbra, J. S. R., Teixeira, J. A. Engineering aspects of milk and dairy products. Boca Raton: CRC Press, 33-57.

Castellví, S. L., Roig-Sagués, A. X., Capellas, M., Hernández-Herrero, M. & Guamis, B. (2005). Survival and growth of Yersinia enterocolitica strains inoculated in skimmed milk treated with high hydrostatic pressure. International Journal of Food Microbiology, 102 (2), 337-342.

Chaves, A. C. S. D. (2011). Leite. In: Koblitz, M. G. B. Matérias-primas Alimentícias: composição e controle de qualidade. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 148 – 184.

Chaves, A. C. S. D., Pimentel, T. C., Guimarães, J. T., Cappato, L. P., Cortez, M. A. S., Cruz, A. G., & Sá, P. B. Z. R. (2017). Operações de pré-tratamento do leite: filtração, padronização e homogeneização. In: Cruz et al. Processamento de leites de consumo. Rio de Janeiro: Elsevier, 45- 62.

Chawla, R., Patil, G. R. & Singh, A. K. (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. Journal of Food Science and Technology, 48 (3), 260-268.

Corassin, C. H., Oliveira, C. A. F., Pimentel, T. C., Cappato, L. P., Guimarães, J. T., Oliveira, R. B. A., Sá, P. B. Z. R. & Cruz, A. G. (2017). Leite pasteurizado. In: Cruz, A. G. et al. Processamento de leites de consumo. Rio de Janeiro: Elsevier, 09 – 44.

Correia, L. F. M., Maubouis, J. L. & Carvalho, A. F. (2011). Aplicações de membranas na indústria de laticínios. Revista Indústria de Laticínios, 15, 74-78. Recuperado em 02 abril, 2019, de http://www.revistalaticinios.com.br/materias/ revista-il-90/13_TecnologiadeMembranas_ Revista%20IL%2090.pdf.

Corrieu, G., & Béal, C. (2016). Yogurt: The Product and its Manufacture. Encyclopedia of Food and Health, Academic Press, 617–624.

Costa, M. C., Deliza, R. & Rosenthal, A. (1999). Revisão: tecnologias não convencionais e o impacto no comportamento do consumidor. Boletim CEPPA, 17 (2), 187-210.

Collado, M. C., Vinderola, G., Salminen, S. (2019). Postbiotics: facts and open questions. A position paper on the need for a consensus definition. Benef Microbes, 10, 711-719.

Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M. & Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications, Food Research International, 136, 109502.

Damin, M. R., Sivieri, K. & Lannes, S. C. S. (2009). Bebidas lácteas fermentadas e não fermentadas e seu potencial funcional. In: Oliveira, M. N. Tecnologia de Produtos Lácteos Funcionais. São Paulo: Atheneu, 21 – 84.

Deeth, H. C. (2011) Lipolysis and hydrolytic rancidity. In: Fuquay, J. W.; Fox, P. F.; McSweeney, P. L. H. Encyclopedia of Dairy Sciences, 2nd Edn, 3. Oxford: Academic Press, 721–726.

Deeth, H. C., & Datta, N. (2011). Heat Treatment of Milk | Ultra-High Temperature Treatment (UHT): Heating Systems. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1 (2), 699–707.

Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D., & Sarode, A. R. (2016). Cream: Types of Cream. Encyclopedia of Food and Health, Academic Press, 331–337.

Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., & Kalyankar, S. D. (2016). Butter: Manufacture. Encyclopedia of Food and Health, Academic Press, 529–534.

Dinan, T. G., Stanton, C. & Cryan J. F. (2013). Psychobiotics: a novel class of psychotropic, Biol Psychiatry, 74, 720-726.

Dusterhoft, E.-M., Engels, W., & Huppertz, T. (2017). Salting of Cheese. Reference Module in Food Science, Elsevier, 1-5.

Dusterhoft, E.-M., & Huppertz, T. (2017). Starter Cultures for Cheese Manufacture. Reference Module in Food Science, Elsevier, 1-4.

Dutra, E.R.P. (2017). Fundamentos básicos da produçao de queijo. Juiz de Fora: Templo, 160p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). Anuário Leite 2018: Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro. Recuperado em 25 março, de https://www.embrapa.br/gado-de-leite.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2020). Anuário Leite 2020:leite de vacas felizes. Recuperado em 18 junho, de https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes-/publicacao/1124722/anuario-leite-2020-leite-de-vacas-felizesEngels.

Faedo, R., Brião, V. B., Castoldi, S., Girardelli, L. & Milani, A. (2013). Obtenção de leite com baixo teor de lactose por processos de separação por membranas associados à hidrólise enzimática. CIATEC, 3 (1), 44-54.

Farkye, N. Y. (2014). CHEESE | Microbiology of Cheesemaking and Maturation. Encyclopedia of Food Microbiology, Academic Press, 1 (2), 395–401.

Fellows, P. J. (2018). Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Práticas. 4 ed. Porto Alegre: Artmed.

Fontes, F. (2021). Nenhum leite tem conservante! Recuperado em 02 julho, 2021, de http://www.bebamaisleite.com.br/noticia/nenhum-leite-tem-conservante

Fontes, F. (2019). Tudo que você precisa saber sobre o leite A2. Recuperado em 02 de julho, 2021, de https://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/tudo-o-que-voce- precisa-saber-sobre-leite-a2

Fox, P.F., & McSweeney, P.L.H. (1998). Dairy Chemistry and Biochemistry. Blackie Academic & Professional, 478p.

Fox, P. F. (2011). CHEESE | Overview. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1, 533–543.

Freire, C. B. F., Prudencio, E. S., Amboni, R. D. M. C, Verruck, S., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Guimarães, J. T., Cappato, L. P., Esmerino, E. A., Moraes, A. E. A., Oliveira, M. N., Paula, J. C. J., Cruz, A. G. & Zacarchenco, P. B. (2017) Bebidas lácteas. In: Cruz, A. G. et al. Processamento de produtos lácteos. Rio de Janeiro: Elsevier, 115 – 135.

Goff, H. D. & Griffiths, M. W. (2006). Major advances in fresh milk and milk products: fluid milk products and frozen desserts. Journal of Dairy Science, Lancaster, 89, (4), p. 1163-1176.

Grandi, J. G. (2011). Leites fermentados. In: Aquarone, E., Borzani, W. Schmidell, W., Lima, U. de A. Biotecnologia Industrial. Biotecnologia na Produção de Alimentos, São Paulo; Edgar Blucher, 4, 209-223.

Guan, D., Chen, H. & Hoover, D. G. (2005). Inactivation of Salmonella typhimurium DT 104 in UHT whole milk by high hydrostatic pressure. International Journal of Food Microbiology, 104 (2), 145-152.

Guinee, T. P., & Sutherland, B. J. (2011). Cheese | Salting of Cheese. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1, 595–606.

Habert, A. C. (2006). Processos de separação por membranas. Rio de Janeiro: e- papers, 180.

Haileselassie, Y., Navis, M., Vu, N., Qazi, K. R. & Rethi, B., Sverremark-Ekstrom, E. (2016). Postbiotic modulation of retinoic acid imprinted mucosal-like dendritic cells by probiotic Lactobacillus reuteri 17938 in vitro. Frontiers in Immunology, 7, 1-11.

Hamad, G., Botros, W., & Hafez, E. (2017). Combination of probiotic filtrates as antibacterial agent against selected some pathogenic bacteria in milk and cheese. International Journal of Dairy Science, 12, 368–376.

Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y. & Yi, H. (2016). Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bactéria. BioMed Research International, 1-6.

Haq, M. R., Kapila, R., Shandilya, U. K. & Kapila, S. (2014) Impact of Milk Derived β-Casomorphins on Physiological Functions and Trends in Research: A Review, International Journal of Food Properties, 17(8), 1726-1741.

Hu, K. & Dikson, J. (2015). Membrane Processing for Dairy Ingredient Separation. John Wiley & Sons Ltd, 1a. ed., 296 p.

Huppertz, T. H., Fox, P. F., Kruif, K. G. & Kelly, A. L. (2006). High-pressure changes induced changes in bovine milk: a review. International Journal of Dairy Technology, 59, (2), 59-65.

Huppertz, T., Kelly, A. L. & Fox, P. F. (2009). Milk Lipids – Composition, Origin and Properties. In: TAMIME, A.Y. Dairy fats and related products, Wiley-Blackwell, 01- 27.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Em 2020, cresce o abate de suínos e frangos e cai o de bovinos. 2021. Recuperado em 18 maio, de https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/30316-em-2020-cresce-o-abate-de-suinos-e-frangos-e-cai-o-de- bovinos.

Ingredion (2021). The clean label guide in Europe. Recuperado em 02 julho, 2021, de http://www.alimentatec.com/wp-content/uploads/2014/10/The-Clean-Label-Guide-To- Europe.pdf

Jay, J. M. (2005). Microbiologia de alimentos. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 711.

Jermann, C., Koutchma, T., Margas, E., Leadley, C. & Ros-Polskib, V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 31, 14 – 27.

Justina, M. D., Justina, M. B. D. & Skoronski, E. (2018). O uso das enzimas na indústria de laticínios: uma breve revisão. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, 73 (3), 172-184.

Kalyankar, S. D., Deshmukh, M. A., Chopde, S. S., Khedkar, C. D., Lule, V. K., & Deosarkar, S. S. (2016). Milk Powder. Encyclopedia of Food and Health, Academic Press 724–728.

Khaled, J. M. A. (2021). Probiotics, prebiotics, and COVID-19 infection: A review article. Saudi Journal of Biological Sciences, 28, 865-869.

Khattab, A. R., Guirguis, H. A., Tawfik, S. M., & Farag, M. A. (2019). Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. Trends in Food Science e Technology, 88, 343–360.

Kelly, A. L., & O'Shea, N. (2011). Plant and Equipment | Pasteurizers, Design and Operation. Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition), Academic Press, 193- 199.

Koblitz, M. G. B. (2010). Bioquímica de Alimentos: teoria e aplicações práticas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 242 p.

Kumar, P., Sharma, N.; Ranjan, R., Kumar, S., Bhat, Z. F. & Jeong, D. K. (2013). Perspective of membrane technology in dairy industry: a review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 26 (9),1347–1358.

Lee, M. J., Zang, Z., Choi, E. Y., Shin, H. K. & Ji, G. E. (2002). Cytoskeleton reorganization and cytokine production of macrophages by Bifidobacterial cells and cell-free extracts. Journal of Microbiology and Biotechnology, 12 (3), 398-405.

Li, S., Zhao, Y., Zhang, L., Zhang, X., Huang, L. & Li, D. (2012). Antioxidant activity of Lactobacillus plantarum strains isolated from traditional Chinese fermented foods. Food Chemistry, 135, 1914-1919.

López-Fandiño, R. (2006). High pressure-induced changes in milk proteins and possible applications in dairy technology. International Dairy Journal, 16 (10), 1119-1131.

Maubois, J. L. (2002). Membrane microfiltration: a tool for a new approach in dairy technology. Australian Journal of Dairy Technology, North Melbourne, 57 (2), 92- 96.

Maubois, J. L., Mocquot, G. & Vassal, L. (1969). "Procédé de traitment du lait et de sous-produits laitiers. Patent Française 2.052.121, Paris, France, 272.

McCarthy, O. J. (2011). Plant and Equipment: Centrifuges and Separators. Applications in the Dairy Industry. 175-183.

McSweeney, P. L. H. (2011). Cheese | Biochemistry of Cheese Ripening. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 1 (2), 667–674.

Mendes, M. O., Morais, M. F., & Rodrigues, J. F. (2019). A2A2 milk: Brazilian consumers' opinions and effect on sensory characteristics of Petit Suisse and Minas cheeses, LWT-Food Science and Technology, 108, 207-213.

Mortensen, B. K. (2011). BUTTER AND OTHER MILK FAT PRODUCTS | The Product and Its Manufacture. Encyclopedia of Dairy Sciences, Academic Press, 492–499.

Nachay, K. (2017). The power of pulses. Food Technology, 3.17,46-53

Neumann, P., Abreu, A. I. C., Torres, E. S, & Silva, E. A. F. (2000) Alimentos saudáveis, alimentos funcionais, fármaco alimentos, nutracêuticos....você já ouviu falar?. Higiene Alimentar, 14, 19-23.

Nieuwenhuijse, J. A. (2011). Concentrated Dairy Products | Sweetened Condensed Milk. Encyclopedia of Dairy Sciences, 869–873.

Nishida, K., Sawada, D., Kuwano, Y., Tanaka, H., Sugawara, T., Aoki, Y., Fujiwara, S. & Rokutan, K. (2017). Daily administration of paraprobiotic Lactobacillus gasseri CP2305 amelio rates chronic stress associated symptoms in Japanese medical students. J Funct Foods. 36, 112-121.

Nguyen, H. T. H, Schwendel, H., Harland, D., & Day, L. (2018). Differences in the yoghurt gel microstructure and physicochemical properties of bovine milk containing A1A1 and A2A2 β-casein phenotypes, Food Research International, 112, 217-224.

Novaes, S. F., Conte-Junior, C. A., Franco, R. M., & Mano, S. B. (2012). Influência das Novas Tecnologias de Conservação Sobre os Alimentos de Origem Animal. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, 19.

Nurit, A., & Mather, I.H. (2011). Mammary Gland, Milk Biosynthesis and Secretion: Secretion of Milk Constituents. Encyclopedia of Dairy Sciences, 373–380.

Oliveira, M. N. (2009). Características funcionais de leites fermentados e outros produtos lácteos. In: OLIVEIRA, M. N. Tecnologia de Produtos Lácteos Funcionais. São Paulo: Atheneu, 277 - 320.

Oliveira, M. N. (2014). FERMENTED MILKS | Fermented Milks and Yogurt. Encyclopedia of Food Microbiology, Academic Press, 1 (2), 908–922.

Olivier, S., Bull, M. K., Stone, G., Diepenbeek, R. J. V., Kormelink, F., Jacops, L. & Chapmanet, B. (2011). Strong and consistently synergistic inactivation of spores of spoilage-associated Bacillus and Geobacillus spp. by high pressure and heat compared with inactivation by heat alone. Applied and Environmental Microbiology. 77, 2317–2324.

Ordóñez, J. A. P., Rodríguez, M. I. C., Álvares, L. F., Sanz, M. L. G. Minguillón, G. D. G. F., Perales, L H. & Cortecero, M. D. S. (2005). Tecnologia de Alimentos. Alimentos de Origem Animal, Porto Alegre: Artmed, 2, 279p.

Osborne, S. (2015) Labelling relating to natural ingredients and additives. Advances in food and beverage labelling: information and regulations, 207-221.

Pacheco. A.F.C, & Leite Júnior, B. R. C. (2020). Produção de Doce de Leite - Teoria e Prática. BOLETIM DE EXTENSÃO. ISSN - 1415 - 692X. Viçosa – MG.

Parmar, A. (2016). Gut–brain axis, psychobiotics, and mental health. Asian Journal of Psychiatry. 22, 84-85.

Penna, A, Subbarao-Gurram, & Barbosa-Cánovas, G.V. (2007). High hydrostatic pressure processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. Food Research International. 40 (4). 510-519.

Penna, A. L. B. (2009). O leite: importância biológica, industrial e comercial. Fisiologia da produção de leite – composição, propriedades físico-químicas, análises. In: Oliveira, M. M (Ed.). Tecnologia de produtos lácteos funcionais. São Paulo: Atheneu Editora, 21-84.

Perrone, I. T., Oliveira, L. N., & Faria, L. M. G. C. (2008). Aspectos tecnológicos da produção do leite em pó instantâneo. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, 361 (63), 35-37.

Perrone, I. T. (2007). Tecnologia para a fabricação de doce de leite. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, 62, 354, 43-49.

Perrone, I.T., Stephani, R., Braz, S. N., Schuck, P., Carvalho, A. F., Pimentel, T. C., Esmerino, E. A., Cruz, A. G., Zacarchenco, P. B. (2017). Doce de leite. In: Cruz, A. G. et al. Processamento de Produtos Lácteos: queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, crème de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcioanais. Rio de Janeiro: Elsevier, 219-245.

Perrone, I. T., Stephani, R. & Neves, B. S. (2011). Doce de leite: Aspectos tecnológicos. 185 p.

Pouliot, Y. (2008). Membrane processes in dairy technology: from a simple idea to worldwide panacea. International Dairy Journal, 18 (7), 735-740.

Prata, L. F. (2001). Fundamentos de ciência do leite. São Paulo: Unesp, 287p.

Prudencio, E. S., Amboni, R. D. M. C., Freire, C. B. F., Verruck, S., Esmerino, E. A., Guimarães, J. T., Cappato, L. P., Silva, H. L. A., Pimentel, T. C. Chaves, A. C. S. D., Cruz, A. G. C. & Zacarchenco, P. B. (2017). Manteiga e creme de leite. In: Cruz, A. G. et al. Processamento de produtos lácteos. Rio de Janeiro: Elsevier, 115 – 135.

Rego, R.A., Zacarchenco, P. B., Van Dender, A. G. F., Alves, A. T., Antunes, A. E. C., Cruz, A. G., Vialta, A., Gallina, D. A., Marasca, E. T. G., Dantas, F. B. H., Siqueira, K. B., Spadoti, L. M., Gama, M. A. S., Oliveira, M. N., Binoti, M. L., Silva, P. H. F., Gomes, R. A. R., Nunes, R. M., Stephani, R. Silva, R. O. P., Pimentel, T. C. & Dantas, T. B. H. (2017). Brasil Dairy Trends 2020: Tendências do Mercado de Produtos Lácteos. Campinas: ITAL, 1. 343. Recuperado em 01 julho, de http://www.brasildairytrends.com.br/.

Renhe, I. R. T., Perrone, I. T., & Silva, P. H. F. S. (2011). Leite condensado: Identidade, qualidade e tecnologia. Juiz de Fora, 232 p.

Ribeiro, E. P. (2001). Queijos. In: AQUARONE, E.; BORZANI, W. SCHMIDELL, W., LIMA, U. de A. Biotecnologia Industrial, Biotecnologia na Produção de Alimentos, São Paulo; Edgar Blucher, 4, 225-253.

Rukke, E. O., Sørhaug, T., & Stepaniak, L. (2011). HEAT TREATMENT OF MILK: Thermization of Milk. Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition), Academic, 693-698.

Saboya, L. V. & Maubois, J. L. (2000). Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. Lait. 80, 541–553.

Sawada, D. Sugawara, T., Nishida, Y., Aihara, K., Aoki. Y., Takehara, I., Takano, K., & Fujiwara, S. (2016). Effect of continuous ingestion of a beverage prepared with Lactobacillus gasseri CP2305 inactivated by heat treatment on the regulation of intestinal function. Food Res Int, 79, 33-39.

Schousboe, A. & Waagepetersen, H. S. (2007). GABA: Homeostatic and pharmacological aspects. J.M. Tepper, E.D. Abercrombie, J.P. Bolam (Eds.), GABA and the Basal Ganglia: From Molecules to Systems, Elsevier Science Bv, Amsterdam, 9-19.

Shenderov, B. A. (2013). Metabiotics: Novel idea or natural development of probiotic conception. Microbial Ecology in Health and Disease, 24, 1-8.

Shigwedha, N., Sichel, L., Jia, L. & Zhang, L. (2014). Probiotical Cell Fragments (PCFs) as "Novel Nutraceutical Ingredients". J Biosci Med, 2, 43-55.

Schuck, P. (2011). Dehydrated Dairy Products: Milk Powder: Types and Manufacture. Encyclopedia of Dairy Sciences, 108-116.

Silva, F. T. (1996). Manual de produção de manteiga. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA. 16 p.

Silva, P. H. F., Cappato, L. P., Guimarães, J. T., Alvarenga, V. O., Pimentel, T. C., Sant'Ana, A. S., Sá, P. B. Z. R., & Cruz, A. G. (2017). Processamento de leite UHT. In: Cruz, A. G. et al. Processamento de leites de consumo. Rio de Janeiro: Elsevier, 63 – 106.

Silva, P. H. F. & Perrone, I. T. (2011). Introdução à composição e estrutura do leite. In: Renhe, I. R. T., Perrone, I. T., Silva, P. H. F. S. Leite condensado: Identidade, qualidade e tecnologia. Juiz de Fora: Templo, 37 -58.

Smiddy, M. A., Kelly, A.L. & Huppertz, T. (2009). Cream and related products. In: TAMIME, A.Y. Dairy fats and related products, 61-85.

Taipina, M. S., Fonts, M. A. S. & Cohen, V. H. (2002). Alimentos funcionais – nutracêuticos. Higiene Alimentar. 16 (100), 28-29.

Tadini, C. C. (2009). Obtenção higiênica do leite - beneficiamento. In: OLIVEIRA, M. N. Tecnologia de Produtos Lácteos Funcionais. São Paulo: Atheneu, 85 – 124.

Tamine, A. Y. & Robinson, R. K. (2000). Yoghurt: Science and technology. 2 nd ed. Woodhead: CRC Press, 623 p.

Taverniti, V. & Guglielmetti, S. (2011). The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics:proposal of paraprobiotic concept). Genes Nutr, 6, 261-274.

Tenchini, N. L. (2016). Tecnologia de produção de iogurte. Juiz de Fora: Dipix gráfica.

Tetra Pak. (2015). Dairy processing handbook, Lund, Sweden.

Tetra Pak. (2019). White paper: Apresentamos o iogurte clean label – projetando alternativas aos aditivos.

Tronco, V. M. (2010). Manual para inspeção da qualidade do leite. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 203 p.

Trujillo, A. J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R. & Guamis, B. (2002). Applications of high hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. Innovative Food Sciences and Emerging Technologies, 3 (4), 295-307.

Tsevdou, M. S. & Taoukis, P. S. Effect of non-thermal processing by High Hydrostatic Pressure on the survival of probiotic microorganisms: Study on Bifidobacteria spp. Anaerobe, 17 (6), 456-458.

Tsilingiri, K. & Rescigno, M. (2013). Postbiotics: What else?. Beneficial Microbes, 4 (1), 101-107.

Tiptiri-Kourpeti, A., Spyridopoulou, K., Santarmaki, V., Aindelis, G., Tompoulidou, E. & Lamprianidou, E. E. (2016). Lactobacillus casei exerts anti-proliferative effects accompanied by apoptotic cell death and up-regulation of TRAIL in colon carcinoma cells. PLoS One, 11 (2).

Tomar, S. K., Anand, S., Sharma, P., Sangwan, V. & Mandal, S. (2015). Role of probiotic, prebiotics, synbiotics and postbiotics in inhibition of pathogens A. Méndez- Vilas (Ed.), The battle against microbial Pathogens: Basic science, technological advances and educational programs, Formatex Research Center, 717-732.

Valsechi, O, A. (2001). O leite e seus derivados. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Agrárias. Tecnologia de Produtos Agrícolas de Origem Animal. Araras-SP.

Van Dender, A. G. F., Moreno, I., Vialta, A., Alves, A. T. S., Spadoti, L. M. & Zacarchenco, P. B. (2014). Qualidade da matéria-prima e sua importância para requeijão e outros queijos fundidos. In: VAN DENDER, A. G. F. Requeijão cremoso e outros queijos fundidos: tecnologia de fabricação, controle do processo e aspectos de mercado. 2ª ed. São Paulo: Setembro Editora, 91-146.

Vesconsi, C. N., Valduga, A. T. & Cichoski, A. J. (2012). Sedimentação do leite UHT integral, semidesnatado e desnatado durante armazenamento. Ciência Rural, 42 (4), 730-736.

Vidal, K., Donnet-Hugues, A. & Granato, D. (2002). Lipoteichoic acids from Lactobacillus johnsonii strain La1 and Lactobacillus acidophilus strain La10 antagonize the responsiveness of human intestinal epithelial HT29 cells to lipopolysaccharide and gram-negative bactéria. Infection and Immunity,70 (4), 2057-2064.

Wilbey. R. A. (2011). Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizerslas. Encyclopedia of Dairy Sciences, 750-754.

Yuhara, T.T., Matsubara, S. T., Santos, J. S. & Garcia, S. (2014). Produção de queijo tipo quark funcional contendo exopolissacarídeos. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, 69 (6), 387-394.

Zare, F., Champagne, C., Simpson, B. K., Orsat, V., & Boye, J. L. (2012). Effect of the addition of pulse ingredients to milk on acid production by probiotic and yogurt starter cultures. LWT- Food Science and Technology, 45(2), 155-160.

Zalazar, C. A., & Perotti, M. C. (2011). Concentrated Dairy Products | Dulce de Leche. Encyclopedia of Dairy Sciences, 874–880.

Zeng, J., Jiang, J., Zhu, W., & Chu, Y. (2016). Heat-killed yogurt-containing lactic acid bacteria prevent cytokine-induced barrier disruption in human intestinal Caco-2 cells. Annals of Microbiology, 66 (1), 171–178.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.004

CAPÍTULO 4

TECNOLOGIA APLICADA AO PROCESSAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS

Thaís Inês Marques de Souza[1], Larissa Tacimara Santos[1], Júlia Nascimento Caldas[1], Tatiana Nunes Amaral[1,*]

Resumo

O setor de produção de frutas e hortaliças brasileiro é um dos mais relevantes no mundo em volume e diversidade. Estes alimentos são consumidos em sua maioria internamente e parte é destinada à exportação, sendo que o volume interno é dividido entre o consumo *in natura* e o processamento industrial. Para as corretas práticas de manuseio e processamento de frutas e hortaliças, o conhecimento das particularidades relacionadas às características físico-químicas e de metabolismo são essenciais. Neste contexto, o presente capítulo apresenta informações sobre as principais tecnologias de processamentos de frutas e hortaliças como legislações vigentes, processo, dados de mercado e avanços na área. Os tópicos abordados foram frutas e hortaliças *in natura*, minimamente processados, desidratados, resfriados e congelados, conservas acidificadas, açúcar, geleia, doce em massa, compota e doce cristalizado. A partir do exposto, pode-se verificar que as tecnologias que envolvem frutas e hortaliças são tradicionais e que as empresas e pesquisadores têm constantemente apresentado soluções tecnológicas para a área.

Palavras-chaves: Agronegócio; Conservação; Qualidade; Tecnologia; Vegetais

[1]Instituto de Ciência e Tecnologia – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
*email: tatiana.amaral@ict.ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem a fruticultura como um dos setores de grande potencial e consequentemente, grande destaque. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do cenário mundial, ficando atrás apenas da China e Índia, com produção aproximada de 40 milhões de toneladas em 2020 (Rodrigues, 2021). As diferentes regiões do país proporcionam produção diversificada de frutas de acordo com suas características ímpares de clima, solo entre outros fatores (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas [SEBRAE], 2015). O comportamento do comércio interno das frutas no Brasil, que absorve 97,5% da sua produção, é de 53% de frutas *in natura* e 47% como frutas processadas. O processamento pode se dar originando produtos como compotas, sucos, geleias e doces (Rodrigues, 2021). Dados de 2017 explicitam que somente a produção de frutas movimentou R$ 38 bilhões no Brasil e São Paulo foi o Estado com maior contribuição, cerca de 30% do faturamento total (Kist, Santos, Carvalho & Beling, 2018).

A exportação de frutas brasileiras em 2020 ultrapassou 1 milhão de toneladas, crescendo 6% em relação ao ano de 2019. O faturamento do setor foi de US$ 875 milhões, superando em 3 pontos percentuais o ano anterior, sendo destaques as frutas cítricas (Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (ABRASFRUTAS, 2020).

Assim como a fruticultura, a olericultura é um dos alicerces do mercado agropecuário. Embora sejam altamente versáteis, os responsáveis mais expressivos pelo volume de produção são: batata, tomate, alface, cebola e cenoura. A olericultura possui predominância do seu volume de produção advindo da agricultura familiar no Brasil (Rossetti, 2015).

O setor de frutas e hortaliças constitui-se como um dos mais promissores, pois o seu consumo tem sido estimulado em vários países em virtude de seus benefícios no combate às deficiências de vitaminas e sais minerais e na prevenção de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes e obesidade (Oliveira *et al.*, 2015).

As frutas e hortaliças são alimentos de alta perecibilidade que demandam cuidados de manejo pós-colheita para garantir sua qualidade, com a finalidade de consumo *in natura* ou como ingrediente da indústria de alimentos. Tanto a fruticultura quanto a horticultura enfrentam alguns desafios como a logística de distribuição, práticas sustentáveis, controle de pragas e doenças e o combate ao desperdício. Aproximadamente 50% da produção de frutas e hortaliças são desperdiçados entre os momentos de colheita, pós-colheita, distribuição, processamento e consumo final na América Latina (Durigan, 2013; Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura [FAO], 1989; Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Van Otterdijk & Meybeck, 2011; SEBRAE, 2015).

As perdas pós-colheita são maiores nas regiões tropicais em virtude das condições ambientais desfavoráveis e às instáveis cadeias de frio. Essas perdas são transmitidas aos produtores e as demais pessoas envolvidas na cadeia produtiva, o que faz com que estas devam ser eliminadas ou pelo menos reduzidas, ampliando a oferta dos produtos, cessando perdas financeiras e de tempo (Parisi, Henrique & Prati, 2012). Os principais causadores de perdas da qualidade estão relacionados aos fatores pós-colheita, podendo evidenciar o acondicionamento inadequado em embalagens impróprias, más condições de transporte e armazenamento. Diante disso, torna-se necessário o desenvolvimento de produtos processados reduzindo, assim, as perdas do excedente das safras (Caetano, Mendonça, Daiuto & Vieites, 2015).

Para a correta aplicação de tecnologias a frutas e hortaliças, informações sobre características químicas, físicas, bioquímicas e fisiológicas devem ser conhecidas. Um exemplo é o comportamento de acordo com a atividade respiratória dos mesmos, podendo variar entre frutos climatéricos que podem ser colhidos ainda verdes e continuam o processo de amadurecimento ou não climatéricos, que devem estar maduros para que sejam colhidos (Bron & Jacomino, 2007; Durigan, 2013).

A necessidade de logística especializada das matérias-primas perecíveis do setor frutífero até os centros consumidores pode dificultar o acesso a frutas sazonais, produzidas em locais distantes, além da necessidade de refrigeração dos veículos agregarem custos ao processo. Estas características aliadas às perdas pós-colheita demandam a busca de alternativas para o aproveitamento dos frutos. Algumas formas viáveis para o processamento de frutas é a elaboração de geleia e compota, que além de permitirem o aproveitamento, possibilitam agregar valor e aumentar a vida útil do produto (Caetano, 2016; Matta, Candéa, Monteiro, Freitas & Penteado, 2010; Pereira, Leite Filho, dos Santos, Pereira & Maracajá, 2015).

A partir do exposto, serão abordadas nos tópicos subsequentes informações sobre as principais tecnologias de processamento de frutas e hortaliças, além de informações sobre avanços na área.

2. Tecnologias aplicadas a frutas e hortaliças

As tecnologias disponíveis para processamento de frutas e hortaliças são baseadas no uso de métodos de conservação de alimentos, princípios tecnológicos e necessidades dos consumidores. A escolha do método, ou conjunto de métodos, para o processamento de frutas e hortaliças é estritamente dependente da matriz alimentar envolvida. Neste contexto, fundamentos científicos e mercadológicos trazem aporte técnico para as escolhas dos melhores equipamentos, parâmetros de processo, embalagem e estratégias de marketing.

O Brasil dispõe de um conjunto de legislações elaboradas para orientar e padronizar os produtos oriundos de frutas e hortaliças, sendo parte destas normas gerais ao setor e outra parte específica para cada aplicação tecnológica utilizada. As resoluções gerais mais relevantes são:

- Resolução da Diretoria Colegiada 272 (2005): define os produtos à base de vegetais de uma forma geral como aqueles "obtidos a partir de partes comestíveis de espécies vegetais tradicionalmente consumidas como alimento, incluindo as sementes oleaginosas". Já os produtos de frutas são definidos como aqueles elaborados a partir de frutas que podem ser inteiras ou em partes, e/ou sementes. Ambos são submetidos a processos como secagem, desidratação, salga, fermentação, dentre outros processos tecnológicos, considerados seguros para a produção de alimentos.
- Resolução de Diretoria Colegiada nº 331 (2019): define parâmetros microbiológicos gerais de alimentos para garantia da qualidade e segurança alimentar;
- Resolução de Diretoria Colegiada CNS MS nº 4 (1988): aprova o uso de aditivos em diversas categorias de alimentos de uma forma geral;
- Resolução de Diretoria Colegiada nº 7 (2013): dispõe sobre os coadjuvantes de tecnologia para produtos de frutas e de vegetais, incluindo cogumelos comestíveis;
- Resolução de Diretoria Colegiada nº 8 (2013): dispõe sobre aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó.

As diretrizes de aplicação de aditivos e coadjuvantes de tecnologias para uso em produtos à base de frutas e hortaliças são constantemente atualizadas por normas complementares a partir das citadas. As legislações específicas de cada tecnologia são abordadas nos tópicos seguintes.

2.1 Frutas e hortaliças *in natura*

O comportamento fisiológico das frutas e hortaliças é ponto chave para o entendimento das melhores práticas de colheita, transporte e armazenamento para oferta de alimentos *in natura* com qualidade, segurança e mínimo desperdício. O processamento de quaisquer

frutos e vegetais como matérias-primas industriais depende de suas características individuais, bem como sua aceitação comercial, uma vez que existem culturas consumidas antes de seu amadurecimento como o caso de jiló, quiabo ou até figos destinados para compotas (Chitarra & Chitarra, 2005).

Por serem seres vivos, as frutas e hortaliças apresentam atividades bioquímicas e metabólicas com ciclo de vida que passa pelas etapas de crescimento/desenvolvimento, maturação e senescência. Mesmo após a colheita estes alimentos mantêm os processos que promovem alterações de coloração, textura, odor, valor nutricional e sabor como a respiração celular e produção de etileno (Zhan, Zhu & Sun, 2018).

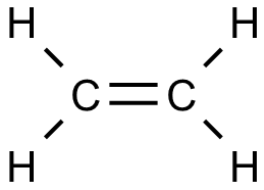
Assim como para frutas, também ocorrem com as hortaliças todas as etapas do ciclo de vida mediante processos metabólicos, podendo ser descritas de forma geral como (Saltveit, 1999; Fonseca, Oliveira & Brecht, 2002; Chitarra & Chitarra, 2005):

- A formação inicial ocorre após a fertilização dos frutos em grande parte das frutas e hortaliças, característica pela multiplicação no número de células;
- Etapa de crescimento / desenvolvimento é aquela onde ocorre o aumento irreversível do volume celular e a matéria-prima desenvolve tamanho, peso e forma, além de biossíntese de constituintes intracelulares. O crescimento pode ser afetado por fatores externos como a incidência de luz, disponibilidade de água, temperatura e tipo de solo;
- A etapa de maturação para frutos ocorre com a mudança de textura (reduzindo a rigidez pela quebra de estruturas pécticas), desenvolvimento de aroma e sabor (uma vez que aumentam as concentrações de sólidos solúveis o fruto se apresenta mais doce), síntese proteica e de etileno, além da alteração de coloração onde muitas vezes deixam de ser verdes e tomam tons amarelo, vermelho, alaranjado, de acordo com os pigmentos que os constituem. Para as hortaliças a etapa de maturação é marcada pelo crescimento vegetativo e a mudança deste crescimento para o reprodutivo;
- A etapa de senescência é caracterizada pela prevalência de reações degradativas, acarretando alterações que resultam em tecidos pouco rígidos, coloração mais escura e odor menos atrativo, até o ponto de não ser utilizável para o consumo.

Após a colheita, o processo de fotossíntese nas frutas e hortaliças é limitado, passando a realizarem respiração. Fonseca *et al.* (2002) coloca que a respiração pós-colheita é um processo de oxidação pelo consumo de O_2 de moléculas orgânicas gerando água, CO2 e liberando energia destinada ao funcionamento de demais órgãos (Chitarra & Chitarra, 2005).

O gás etileno (C_2H_4), de acordo com Saltveit (1999) é o hormônio responsável por regular o crescimento vegetal, onde tem a síntese e ação por processos metabólicos que utilizam oxigênio e são sensíveis a altas concentrações de dióxido de carbono (CO_2). Sua produção e ação são relacionadas com estresse, abscisão e senescência trazendo consequências desejáveis como o amadurecimento dos frutos ou indesejáveis como processos degradativos. A estrutura química do etileno está representada na Figura 1.

Figura 1: Estrutura química do etileno

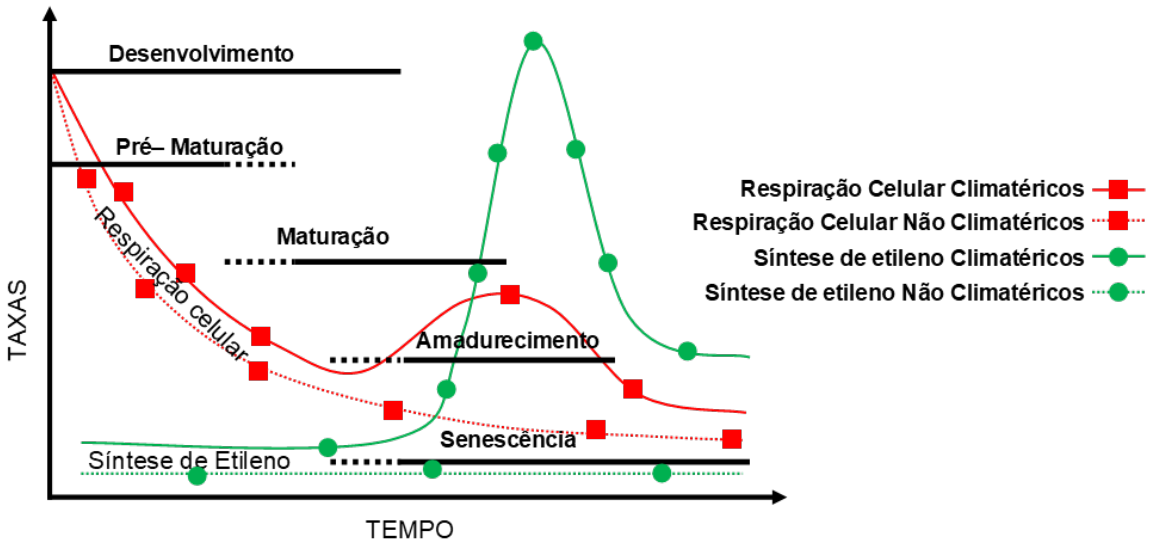


Fonte: Adaptado de Saltveit (1999).

A classificação das frutas e hortaliças de acordo com a taxa respiratória traz a divisão destes alimentos em climatéricos e não climatéricos. Os frutos climatéricos são aqueles em que a produção de etileno apresenta um pico no final do processo de maturação, gerando marcante aumento na taxa respiratória. Esta característica permite aos frutos a continuidade do processo de maturação mesmo após a colheita, tendo como exemplos o abacate, a banana e o mamão. Os frutos não climatéricos também apresentam produção de etileno enquanto ligados à planta, mas não produzem depois de colhidos, acarretando um comportamento de declínio lento e constante da taxa respiratória. Desta forma, os frutos não climatéricos não possuem a capacidade de amadurecimento pós-colheita e exemplos destes frutos são limão e laranja (Saltveit, 1999; Chitarra & Chitarra, 2005).

Na Figura 2 estão ilustradas as etapas do ciclo de vida dos frutos em função do tempo, destacando a diferença dos comportamentos de respiração celular e síntese de etileno em frutos climatéricos e não climatéricos.

Figura 2: Desenvolvimento fisiológico de frutos climatéricos e não climatéricos em associação a respiração celular e produção de etileno



Fonte: Adaptado de Chitarra & Chitarra (2005) e Wei, Seidi, Zhang, Jin e Xiao *et al.* (2021).

Grande parte do comércio nacional de frutas e hortaliças é realizada através das Centrais de Abastecimento que movimentaram no ano de 2020 o total de 16.351.854 toneladas, representando aproximadamente R$ 42.280 mi de faturamento. O quantitativo comercializado apresentou queda de 2,85% em relação ao ano anterior, em contrapartida o valor foi 3,05% maior. Este comportamento expõe a situação da instauração da pandemia da COVID-19 e as consequências das medidas de trabalho remoto e distanciamento social. Neste contexto, estabelecimentos como restaurantes, escolas e hotéis foram fechados ao público, diminuindo a demanda por estes alimentos. A queda na comercialização de 2020 em relação a 2019 foi de 14,3% para as folhosas e 10,57% para as frutas, transparecendo outros fatores interferentes como a queda da produção pela agricultura familiar de folhosas e aumento dos custos de frutas (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2021a). No Quadro 1 estão exemplos de frutas, legumes e hortaliças comercializados de forma in natura de marcas presentes no Brasil.

Quadro 1: Exemplos de frutas, legumes e hortaliças comercializados *in natura*.

Marca	Frutas	Legumes / hortaliças
Grupo Benassi	212 opções entre elas: uva, umbu, seriguela, jambo, romã, pitaias, pêssego, goiaba, cereja, mirtilo, melancia, melão, maçã e bananas.	140 opções entre elas: alho, quiabo, jiló, mogogi, gengibre, maxixe, pepino, vagem e alface.
Alfacitrus	Laranja, tangerina e limão.	-
Fischer	Maçã, cereja, pêssego, ameixa, nectarina, kiwi.	-
Chácara Strapasson	Abacate, banana, caqui, coco verde, goiaba, kiwi, laranjas, limões, maçãs, mamão, manga, maracujá, melancia, melão, morango, pera e uva.	Abobrinha, alface, alho, alho poró, batata, batata doce, berinjela, beterraba, brócolis, cebola, cebolinha, coentro, cenoura, chicória, chuchu, couve, couve flor, espinafre, mandioquinha, milho, pepinos, pimentões, rabanete, radiche, rúcula, salsinha, tomates, repolho verde e vagem.

Fonte: AlfaCitrus, (s. f.); Benassi SP, (s. f.); Chácara Strapasson, (s. f.); Fischer, (s. f.)

2.2 Minimamente processados

O surgimento da tecnologia de vegetais minimamente processados teve início nos Estados Unidos por uma demanda com o surgimento das redes de Fast Food na década de 1950, inicialmente com cebola e alface. O desenvolvimento tecnológico de equipamentos como termosseladores, embaladoras automáticas e embalagens com permeabilidade seletiva trouxeram ao longo do tempo ferramentas para melhor manejo dos minimamente

processados. No Brasil o início do uso desta tecnologia foi em 1979 com o mesmo intuito de abastecimento das redes Fast Food, mercado que foi desenvolvendo tecnologicamente e abrindo para novos nichos de mercado (Moretti, 2007).

Em paralelo, a busca por alimentos mais saudáveis e de rápido preparo fomentaram o desenvolvimento da tecnologia de processamento mínimo de frutas e hortaliças. A tecnologia proporciona maior vida útil, qualidade e praticidade aos produtos, gerando novos canais de comercialização, produtos diferenciados, expandindo cada vez mais o mercado (Portal Brasil, 2016; Oetterer, Arce & Spoto, 2006). Além disso, os produtos minimamente processados são uma alternativa para diminuir as perdas de frutas e hortaliças que não possuem os padrões de mercado, possibilitando, assim, a redução da quantidade de resíduos (Oetterer, Arce & Spoto, 2006).

Segundo pesquisa de Nascimento (2021) o maior volume de produção das hortaliças no Brasil se dá por agricultura familiar e mesmo que sejam diversificadas, as culturas que ganham destaque são: alface, batata, cebola, cenoura e melancia. Este fato reforça a importância socioeconômica da tecnologia de minimamente processados. Para entendimento da diversidade de itens presentes neste mercado, estão representados no Quadro 2 exemplos de empresas e seus produtos minimamente processados no Brasil.

Quadro 2 – Exemplos de empresas brasileiras produtoras de minimamente processados

Marcas	Produtos
La Vita	- Salada (campestre; verão; topical; alface americana; riviera; rúcula; mix de folhas); - Versátil (cenoura; couve manteiga; repolho branco; primavera mix); - No tempero (salsinha; cheiro verde; cebolinha); - Gourmet (salada *summer*, tomate grape; agrião *baby*; espinafre *baby*; rúcula *baby*; salada *spring*); - Detox (mix para suco detox); - Na Panela (kit sopão; mandioca; kit de yakisoba; seleta de vegetais; abóbora cabotiá; abóbora seca; brócolis floretes; couve flor floretes; couve flor e brócolis).
Verdureira - Insalata Prima	- Rúcula, alface americana, agrião; - Saladas: paulista, italiana, brasileira, do mês, *gourmet*.
Select Green	- Alho poró; americana bola; brócolis comum ; brócolis ninja; mini cebola; couve flor ; espinafre; alface frisse; mini romana; rabanete; radiccho ; salsão branco; repolho verde; acelga; milho doce; - Saladas: verde; primavera; família.
Caisp - Simplifique Saladas	- Salada pronta: Americana; Campestre; *Gourmet*; Italiana; Marguerita; Primavera; Romana; Verde; - Orgânicos: couve manteiga extrafina ; cheiro verde (salsa); rúcula; - Salada Preferida; Yakisoba; Detox 1 (couve manteiga, espinafre, hortelã, gengibre); Detox 2 (couve manteiga, cenoura, beterraba, gengibre); - Legumes fatiados: abóbora japonesa; abóbora seca; beterraba desfiada; brócolis Ninja; cenoura e vagem cubos; cenoura desfiada; couve flor; mandioca; mandioquinha; mista (cenoura e beterraba ou couve flor e brócolis Ninja).

Continua

Continuação

Marcas	Produtos
Scussel Hortifruit	- Brócolis ramoso; - Couve manteiga picada; - Espaguete (abobrinha verde; batata doce; cabotiá; cenoura); - Folhosos (acelga; agrião; alface americana, crespa, lisa, mimosa, roxa, almeirão doce, almeirão; chicória; espinafre; repolho roxo; repolho verde); beterraba ralada; cenoura ralada; - Legumes para yakissoba; mix ralado; mix salada; aipim em cubos; batata como salsinha; batata salsa; abóbora cabotiá com casca; cabotiá com tempero; cabotiá em cubos; cabotiá descascada; cenoura cubos; cenoura mini; chuchu cubos; chuchu pedaços; - Kit sopa; kit sopinha; legumes para sopinha; seleta de legumes; mix sopão; - Salada arco -íris; salada família; salada primavera; - Cebola picada; cebolinha picada; cheiro verde picado.
Takagaki Hortaliças	- Saladas (romana; primavera; mini mista; marguerita; italiana; campestre; repolho misto; americana; tabule; verde; tropical; vinagrete); - Beterraba; yakissoba; vagem macarrão; almeirão; rúcula; alho poró; vagem e cenoura; minibatata ; repolho roxo; repolho; alface lisa; manjerona; orégano; espinafre; alface crespa roxa; manjeriquinho; sukiyaki; alface crespa; sopão; couve manteiga; chuchu; alface americana; mandioquinha; seleta de legumes; cheiro verde; agrião; salsa; cenoura; acelga; cebolinha; cebola; abobrinha italiana; catalônia; couve flor; brócolis ninja; brócolis, abóbora seca, abóbora cabotiá.

Fontes: CAISP, (s. f.); La Vita, (s. f.); Scussel Verduras, (s. f.); Select Green, (s. f.); Takagaki, (2020); Verdureira, (s. f.).

Dentre os parâmetros de qualidade dos vegetais minimamente processados estão as características sensoriais. Determinadas pelos consumidores, os aspectos sensoriais como aparência, sabor, odor e textura (Dutcosky, 2007) são fundamentais para a aceitação. A aparência está diretamente relacionada com atributos como a cor, tamanho, forma, defeitos e integridade do alimento. A textura, percebida pelo tato incluindo a sensação na boca, e o sabor são aspectos relevantes pela percepção do alimento minimamente processado, uma vez que o mesmo terá como referência sua forma *in natura* (Gava, Silveira & Frias, 2009). Na Figura 3 exemplifica um produto de cenoura minimamente processada e seu aspecto final.

Figura 3: Cenoura minimamente processada.



Fonte: Autores (2021)

Alterações como crescimento e atividade de microrganismos, ação de enzimas, reações químicas não enzimáticas, alterações provocadas por insetos e roedores, além de mudanças físicas ocasionadas por injúrias mecânicas podem levar à perda de qualidade do produto minimamente processado (Gava, Silveira & Frias, 2009). Esses fatores são importantes, uma vez que o processamento mínimo trabalha com tecidos vivos e a sua manipulação pode acarretar na diminuição do valor nutricional e da aceitação do consumidor (Oetterer, Arce & Spoto, 2006).

De acordo com a Instrução Normativa SDA nº 65 (2003), que aprova as Diretrizes Gerais do Plano Nacional de Segurança e Qualidade dos Produtos de Origem Vegetal - PNSQV, alimentos minimamente processados são frutas ou hortaliças, ou combinação destas, que apresentam alteração apenas física, ou seja, cortes e fatiamento, mantendo o estado fresco e natural. Enquanto que os alimentos semiprocessados são aqueles que recebem tratamento e ainda apresentam seus estados naturais.

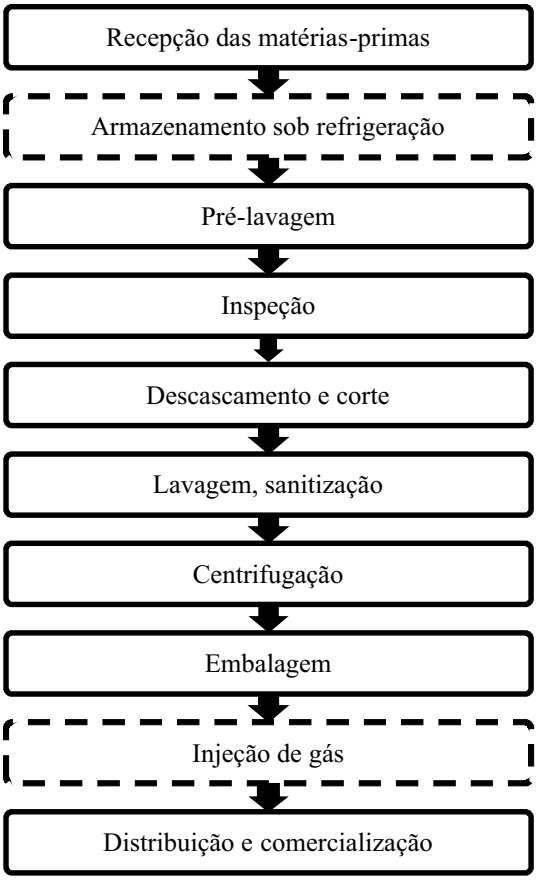
Uma vez que os alimentos minimamente processados, ou *fresch cut*, são comercializados deve-se levar em consideração também os pareceres da Instrução Normativa n° 60 (2019), que estabelecem as listas de padrões microbiológicos para alimentos prontos para oferta ao consumidor. Outros aspectos que devem receber atenção durante o processamento e comercialização dos produtos são as importantes etapas consideradas pontos críticos e as características bioquímicas do produto final, uma vez que o mesmo muitas vezes mantém seu metabolismo ativo.

Para a obtenção deste produto, vegetais passam por operações como limpeza, lavagem com água potável, sanitização, enxágue, descascamento, corte, embalagem e armazenamento. O consumidor ganha comodidade e praticidade pelas embalagens convenientes e um produto pronto para o preparo ou até mesmo para o consumo (Perez *et al.*, 2008). A praticidade envolvida no consumo desses produtos oferece um maior aproveitamento desses vegetais, reduzindo suas perdas (Gomes, Alvarenga, Freire Júnior & Cenci, 2005).

A garantia da qualidade do produto final se dá a partir da matéria prima segura e de qualidade, então desde a recepção será garantido que sejam processados apenas produtos de qualidade, que não apresentem injúrias e estejam em ponto de processamento adequado, evitando assim contaminação dos demais. Em alguns momentos pode ser necessário o armazenamento antes dos processamentos, então o mesmo deverá acontecer em locais diferentes dos produtos acabados, porém em condições controladas com resfriamento e alta umidade relativa do ar para evitar perda de água do fruto. Antes do corte, os produtos são pré-lavados a fim de remover as sujidades físicas (terra, areia, folhas) e seguem para a inspeção, que analisará presença de injúrias ou pontos degradados. Devidamente inspecionados, os alimentos passarão pelo descascamento, corte ou ralação, para serem lavados e sanitizados em solução de água clorada de 150-200 ppm por 10-15 minutos, seguindo para o enxágue e centrifugação. Com o alimento higienizado o mesmo será embalado, pesado e acondicionado refrigerado. Durante sua distribuição e comercialização o alimento também deverá ser mantido refrigerado (Corato, 2019; Botondi *et al.*, 2021).

Na Figura 4 está apresentado o fluxograma geral de produção de minimamente processados.

Figura 4 – Fluxograma de produção de minimamente processados



Fonte: Adaptado de Corato (2019) e Botondi *et al.*, (2021)

A fim de aumentar a vida útil desses produtos, Santos & Oliveira (2012) estudaram alimentos minimamente processados embalados em atmosfera modificada visando preservar as suas qualidades e nutrientes durante mais tempo. Essa prática atrai os consumidores que procuram produtos práticos, frescos e saudáveis e que, ao mesmo tempo, são fáceis de transportar e preparar.

Existem possibilidades de tratamentos complementares para melhorar a manutenção da qualidade e aumentar a vida útil de minimamente processados como o uso de revestimentos comestíveis, aplicação de agentes inibidores de escurecimento, aplicação de agentes de firmeza e tratamento por irradiação (Silva, Pinto, Jacomino & Silva, 2011).

Costa, Neto, Almeida e Costa. (2018), encontraram dados satisfatórios com a aplicação de vida de prateleira prolongada de mangas *Tommy Atkins* com a associação de revestimento

comestível com cera de carnaúba e refrigeração a 12°C por 21 dias. Assim como Rodrigues *et al.* (2018), que propôs o revestimento de goiabas com amido de jaca e amido de jaca com alginato de sódio ou quitosana, em diferentes ambientes, refrigerados e temperatura ambiente, identificando que a combinação do amido e quitosana retardou o amadurecimento dos frutos, manteve a firmeza e a coloração e aumentou em 6 dias a vida útil dentro de parâmetros sensoriais aceitáveis.

Sendo um produto com curta vida de prateleira, a maior necessidade da rastreabilidade é um fator importante a ser destacado, uma vez que sua distribuição e consumo precisam acontecer em condições propícias. Além da segurança do alimento durante toda a cadeia produtiva, a tecnologia se torna um atributo também de marketing, agregando valor comercial (Spagno, Junior, Pereira e Filho, 2018). Mesmo com o aumento da preocupação com a saúde, meio ambiente e rentabilidade, poucos dados atuais expressam o consumo de minimamente processados no país.

2.3 Desidratados

As frutas desidratadas, assim como outros produtos de origem vegetal, vêm sendo associados como aliados à saúde, além de serem alimentos práticos, de alta durabilidade e auxiliarem assim na redução do desperdício de matérias-primas (Agro2.0, 2020). As características sensoriais diferenciadas e a possibilidade de oferta em qualquer período do ano, independente da safra, são colocados por Romano, Ruella, Branco, Tolentino e Oliveira, (2013) como pontos importantes em relação a esta classe de alimentos. Em contrapartida, estes produtos têm a característica de apresentarem custo mais alto, uma vez que os vegetais *in natura* apresentam alto teor de água e requerem maior demanda energética no processo de desidratação (Sebrae, 2019; Borges, 2020; Agro20, 2020). Na Figura 5 estão exemplos de frutas desidratadas.

Figura 5: Ameixas, tâmaras e damascos desidratados.



Fonte: Autores, 2021.

Dentre as frutas mais comuns encontradas na forma desidratada pode-se ressaltar a uva passa, ameixa e coco, sendo produtos tradicionais no mercado e encontrados em alimentos como mistura de cereais. Em contrapartida, outras opções vêm ganhando seu lugar nas prateleiras como abacaxi, banana, maçã, kiwi e frutas vermelhas (Sebrae, 2019; Agro 2.0, 2020). As folhas são partes das plantas comumente desidratadas e podem ser destacadas aquelas destinadas ao consumo em forma de chás como desidratados de hortelã e camomila até mesmo temperos como orégano, manjericão, alho e cebola. No Quadro 3 estão exemplos de produtos desidratados encontrados no mercado.

Quadro 3 – Exemplos de frutas e hortaliças desidratadas

Marcas	**Produtos**	
	Frutas	**Hortaliças**
Brasil Frutt	Ameixa; *blueberry* ; *cranberry* ; damasco; *goji berry* ; mix de frutas desidratadas; tâmara; uva passa (clara e escura).	-
Casa dos Cereais	Abacaxi; ameixa; banana; *blueberry* ; coco; *cranberry* ; damasco; figo; gengibre; *gojiberry* ; manga; maçã; mix de frutas; pa paia; salada de frutas; tâmara sem caroço; tomate; uva passa (branca, preta).	- Salsa, semente de mostarda; tomate, tomilho, alecrim, alho (floco, granulado), aniz estrelado, canela, cebola, cravo da índia; louro; manjericão, orégano; pimenta calabresa; pimenta do reino preta, pimenta rosa; - Temperos: salsa, cebola e alho; chimichurri; vinagrete; páprica; ervas finas com limão.
Casa Santa Luzia	Ameixa dagen; coco; *cranberry* ; damasco (natural, turco); goiaba; kit de frutas secas; maçã; mix vegetais; tâmara; uva passa sem semente.	Camomila; verde matcha; espinheira -santa; quebra pedra; erva doce; melissa; doce amêndoa; verde; boldo do chile.
Chá Leão		- Sachê: camomila, cidreira e maracujá; maracujá, laranja e gengibre; verde, hortelã e limão; maçã e canela; camomila; hibisco e cereja; morango; gengibre com especiarias; hibisco amora e rosa silvestre; erva doce; verde; *English Breakfast* ; hortelã; *Earl Grey* ; mate; chá preto, laranja e mel; mate e guaraná; verde; abacaxi e hortelã; *Ice tea* e pêssego; verde, gengibre e limão; mate com groselha; preto e frutas vermelhas; - Cápsula: maracujá, laranja e gengibre; laranja gengibre e pimenta rosa; amora, mirtilo e baunilha; *English Breakfast* ; - A granel e solúvel: mate.
Cipria	Abacaxi; ameixa; banana da terra; *blueberry* ; coco (chips e ralado); *cranberry* ; damasco; manga; maçã; morango; tâmara; uva passa branca.	Alcachofra; alecrim; alho poró ; camomila; capim limão; cebolinha verde; coentro; erva cidreira; estragão; folha de curry; hibisco em flores; hortelã em flocos; louro; manjericão; manjerona; menta; orégano; salsa em flocos; sálvia; segurelha; tomilho.
Viva Salut	Abacaxi, ameixa sem caroço; banana; *blueberry* ; *cranberry* ; damasco; figo; *goji berry* ; tâmara; uva passa (preta e branca).	Alho; boldo; carqueja doce; camomila; hibisco; manjericão; orégano; pimenta preta; salsa; tomate; vinagrete; chimichurri.

Fonte: Brasil Frutt, (s. f.); Casa dos Cereais, (s. f.); Casa Santa Luzia, (s. f.); Chá Leão, (s. f.); Cipria, (s. f.); Viva Salute Alimentação Saudável Ltda, (s. f.).

O processo de desidratação de frutas e hortaliças consiste na transferência de calor e eliminação da água por evaporação reduzindo o seu volume, conferindo ao produto a vantagem de não necessitarem de refrigeração durante o armazenamento e transporte, além de possibilitar a concentração dos nutrientes (Fellows, 2006; Jorge, 2014; Pessoa, Portela, El-Aouar & Martins, 2015; Santos, Machado, Alves & Costa, 2013). Corrêa, Resende, Martinazzo, Goneli e Botelho (2007) descrevem esse processo como sendo o mais empregado de forma a assegurar a qualidade e a estabilidade dos produtos, devido ao fato da redução da quantidade de água contribuir para minimizar atividade biológica e possíveis mudanças químicas e físicas que possam ocorrer durante o armazenamento. A Resolução da Diretoria Colegiada nº 273 (2005) traz diretrizes sobre a aplicação dos desidratados em misturas para o preparo de alimentos e também como alimentos prontos para o consumo.

As especiarias podem ser comercializadas desidratadas como exemplo as folhas do tomilho (*Thymus vulgaris L.*), alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*) e louro (*Laurus nobilis L.*), para o consumidor final ou como ingrediente para a indústria de alimentos com o intuito de agregar sabor e/ou aroma aos alimentos. A resolução específica para especiarias, temperos e molhos (Resolução da Diretoria Colegiada nº 276, 2005) apresenta a definição e as espécies que podem ser utilizadas como especiarias.

Durante a desidratação a parte interna dos alimentos é exposta ao oxigênio favorecendo a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), uma das responsáveis pelo escurecimento. As temperaturas aplicadas no processo aceleram as reações enzimáticas responsáveis pelo escurecimento, resultando em perdas nutricionais e alterações sensoriais indesejáveis. Além disso, essa ação também é responsável pela deterioração do produto (Celestino, 2010). A fim de retardar essas reações, preservar a cor e prolongar a vida útil dos desidratados faz-se o uso de pré-tratamentos com antioxidantes, sulfitação, sulfuração, branqueamento e até mesmo a desidratação osmótica (Aditivos & Ingredientes, 2016; Celestino, 2010).

Os antioxidantes mais utilizados são o ácido ascórbico e ácido cítrico, com ênfase no ácido ascórbico que ainda contribui para a reposição da vitamina C. A aplicação destes ácidos deve ser realizada em solução de concentração de 4% por no mínimo 2 minutos, sendo os vegetais imergidos na solução imediatamente após o fatiamento (Celestino, 2010).

A sulfitação é o emprego de agentes sulfitantes como o bissulfito de sódio, sulfito e o metabissulfito, com finalidade de prevenir o escurecimento enzimático e não enzimático, atuando também como conservador, uma vez que podem inibir a ação de fungos, leveduras e bactérias. Este tratamento é realizado com a imersão do alimento em uma solução de água e o agente sulfitante de 2 a 5 minutos. No entanto, esses sulfitos inorgânicos liberam o dióxido de enxofre (SO_2) e por isso o teor residual de SO_2 livre deve ser inferior a 100 ppm ou 0,01g/100g de produto em base úmida. Para potencializar o efeito da ação antioxidante aplica-se o ácido ascórbico, o ácido cítrico e o agente de sulfitação em uma mesma solução (Celestino, 2009).

O processo de sulfuração consiste na queima do SO_2 sendo utilizado de forma direta em um ambiente hermeticamente fechado em que o alimento está exposto. Esse tratamento é o mais adequado para a maioria das frutas. O uso de agentes sulfitantes é o método mais utilizado pela indústria alimentícia para controlar o escurecimento enzimático devido à sua grande efetividade e amplo campo de aplicação (Aditivos & Ingredientes, 2016). Quando utilizados, deve ser informado no rótulo do produto sobre a presença desses agentes, sendo identificados pelo seu código INS (número padrão internacional) (Celestino, 2009).

Quanto ao branqueamento, é um pré-tratamento físico que consiste na imersão em água a temperatura de 100 °C por um curto intervalo de tempo seguido de um resfriamento imediato, que tem por finalidade a inativação das enzimas deteriorantes, além de acelerar o processo da secagem (Souza, Costa e Chauca, 2014; Aditivos & Ingredientes, 2016). De acordo com Celestino (2010), este tratamento quando direto na água provoca a dissolução de substâncias como vitaminas e açúcares, sendo recomendado o branqueamento a vapor. O mesmo ainda ressalta que ocorre um cozimento parcial do produto podendo gerar um sabor desagradável ao mesmo.

A desidratação osmótica é um pré-tratamento que tem como princípio a diferença de concentração osmótica do alimento com a solução concentrada. Esta condição induz a migração de água livre do alimento para a solução hipertônica em contato, além do depósito de sólidos da solução no alimento (Celestino, 2010). O processo mantém características como aroma, cor e textura, além de aumentar a vida útil por reduzir atividade de água (Le & Konsue, 2021). As soluções podem ser compostas por água e adição de sacarose ou cloreto de sódio a temperaturas adequadas a cada fruta ou hortaliça. No Quadro 4 estão dispostos exemplos de parâmetros deste processo em diferentes frutas e hortaliças.

Quadro 4: Exemplos de parâmetros de processo de desidratação osmótica de frutas e hortaliças.

Alimento	Parâmetros de processo da desidratação osmótica			Resultado
	Solução hipertônica	Tempo / Temperatura	Processo complementar	
Abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merr.) em fatias de 10 mm de espessura (Le & Konsue, 2021)	Sacarose 65 ºBrix 1:4 amostra / solução	300 min Temperatura Ambiente	Impregação a vácuo (50 mHg)	Perda de água: 25,25±0,6 g/100g fruta fresca. Ganho de soluto: 14,79±1,1 g/100g fruta fresca.
Mamão (*Carica papaya*) em fatias de 3 mm de espes sura (Chandra, Kumar, Tarafdar & Nema, 2020)	Sacarose 25 ºBrix 1:4 amostra / solução	30 ºC	Ultrassom por 10 min e 40 kHz, 150W	Redução de atividade de água, preservação de compostos fenólicos e antioxidantes boa textura.
Cenoura em tiras de 3-4 cm x 1 -1,5 cm (Khubber et al., 2020)	Sacarose Sacarose / mel (1:1) Mel Sacarose / glicerol (1:1) com stevia (Todos a 60 ºBrix) Aprox. 70 g/100g	24 horas Temperatura Ambiente	Pré-tratamento em água (95ºC) por 2 min com metabiss ulfito de potássio (0,2%) e $CaCl_2$ (1%).	Mel e glicerol foram bons substitutos da sacarose no aumento da vida de prat eleira e manutenção de compostos bioativos.

Fontes: Le e Konsue (2021), Chandra, Kumar, Tarafdar e Nema (2020) e Khubber et al. (2020).

Existem vários tipos de secagem de frutas e hortaliças, sendo mais conhecidas as secagens por estufa, por atomização e a liofilização. A secagem por estufa ou secagem convectiva de ar quente é o tipo mais comum na secagem de alimentos (Guiné, Pinho & Barroca, 2011) e consiste na remoção de água por vaporização térmica utilizando calor e sob condições controladas de temperatura, umidade e velocidade do ar (Azeredo, 2004). As suas vantagens são o aumento da vida útil do produto, aumento ou preservação do valor nutricional, facilidade de transporte e de comercialização, redução das perdas pós-colheita, uso de tecnologia de baixo custo (Engel, Monte Baccar, Marquardt, de Oliveira & Rohlfes, 2016).

A secagem por atomização ou secagem por *spray dryer* é uma técnica largamente aplicada na indústria alimentícia, o que proporciona eficiência na obtenção de diversos produtos. O método possibilita a obtenção de partículas de alta qualidade, de tamanho uniforme e forma esférica, viabiliza a secagem dos produtos à pressão atmosférica, facilita a produção de grandes volumes em operação contínua utilizando-se equipamentos de fácil operação, e apresenta ampla aplicabilidade e flexibilidade por propiciar o processamento de diversos tipos de materiais com rapidez e baixa umidade.

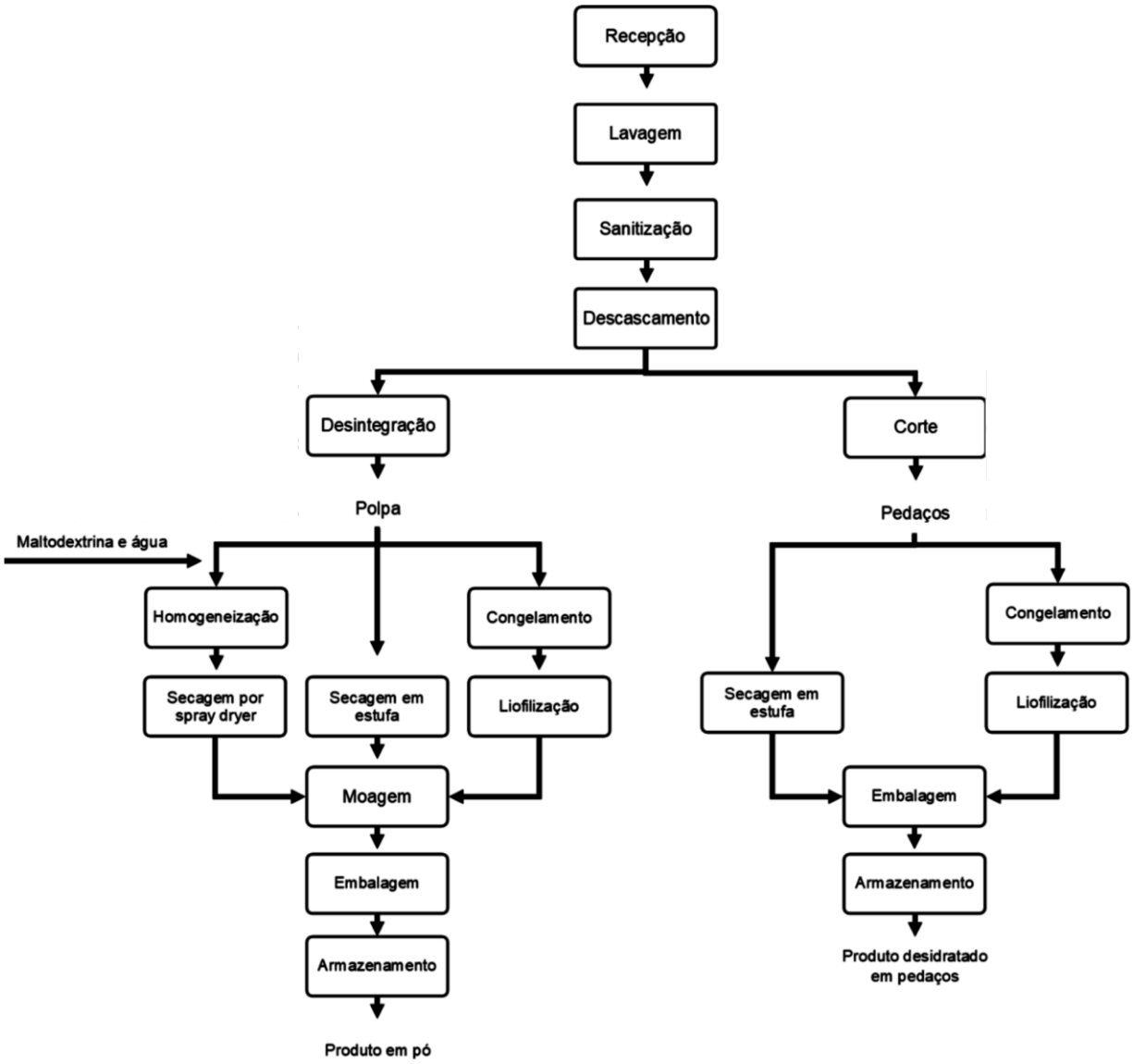
Já a liofilização é um dos métodos mais eficientes para preservação do valor nutricional e das características sensoriais dos produtos devido ao emprego de baixas temperaturas durante o processamento e retirada da água por sublimação. No entanto, apresenta alto custo quando comparado com os outros métodos (Santos, Florêncio, Rocha & Costa, 2014).

A secagem de alimentos é alvo de estudos científicos com objetivos de melhorias de processo e definições de parâmetros, contribuindo para prosseguimento das investigações, além da disposição do conhecimento para a comunidade. Um exemplo é o estudo de Morais e Silva (2011) que desenvolveram um sistema de secagem com atmosfera modificada para abacaxi com a finalidade de manter o aroma do produto. Os mesmos descreveram que o uso da atmosfera modificada possibilita aumentar a vida útil do produto e preservar o aroma, cor e frescor.

A secagem também é aplicada como forma de aproveitar os coprodutos oriundos das frutas como, por exemplo, a obtenção de farinhas dos resíduos de algumas frutas tropicais como manga, goiaba e acerola. Esta farinha pode ser empregada para o enriquecimento de produtos alimentícios, além de agregar valor ao produto final e contribuir para o aproveitamento de resíduos, reduzindo o desperdício (Meneses *et al.*, 2018). Chappalwar, Pathak, Goswami e Verma (2020) demonstraram a viabilidade da aplicação de casca de manga em pó como substituto de óleo vegetal na formulação de hambúrgueres de frango funcionais.

O fluxograma apresentado na Figura 6 traduz algumas possibilidades de rotas de processos para a aplicação de secagem de frutas e hortaliças em pó e em pedaços.

Figura 6: Fluxograma de diferentes métodos de secagem de frutas e hortaliças



Fonte: Adaptado de Basílio, Charbel e Ferreira (2016), Siddick e Ganesh (2014), Vieira, Nicoleti e Telis (2012), Zotarelli, Durigon, Silva, Hubinger e Laurindo, (2020).

Vários vegetais podem ser submetidos ao processo de secagem, como por exemplo os cogumelos, brócolis, cenoura, ervilha, milho, cebola, alho, tomate e abobrinha. Após o processo de desidratação esses vegetais podem ser adicionados como componentes na formulação de molhos para salada e sopas instantâneas, massas, pizzas ou, em alguns casos, serem consumidos diretamente como snacks temperados, guarnição ou aperitivos (Camargo, Haj-isa & Queiroz, 2007). Já as frutas desidratadas possuem forte aroma e sabor adocicado devido à alta concentração de açúcares, sendo importante fonte de energia e um produto de alto valor agregado, além de poderem ser incorporadas em bolos, biscoitos, pão, iogurtes, sorvetes entre outros (Souza Neto, Lima, Lima, Maia e Figueiredo, 2006; Souza, Costa, Rensis e Sivieri, 2010).

2.4 Resfriados e congelados

Dentre as diversas formas de aumento de vida útil de um alimento, a refrigeração e o congelamento baseiam-se pelo mesmo princípio: diminuição da temperatura pela retirada de calor visando a redução da atividade respiratória, atividade microbiológica e consequentemente, a degradação do produto (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2007; Spagnol *et al.*, 2018).

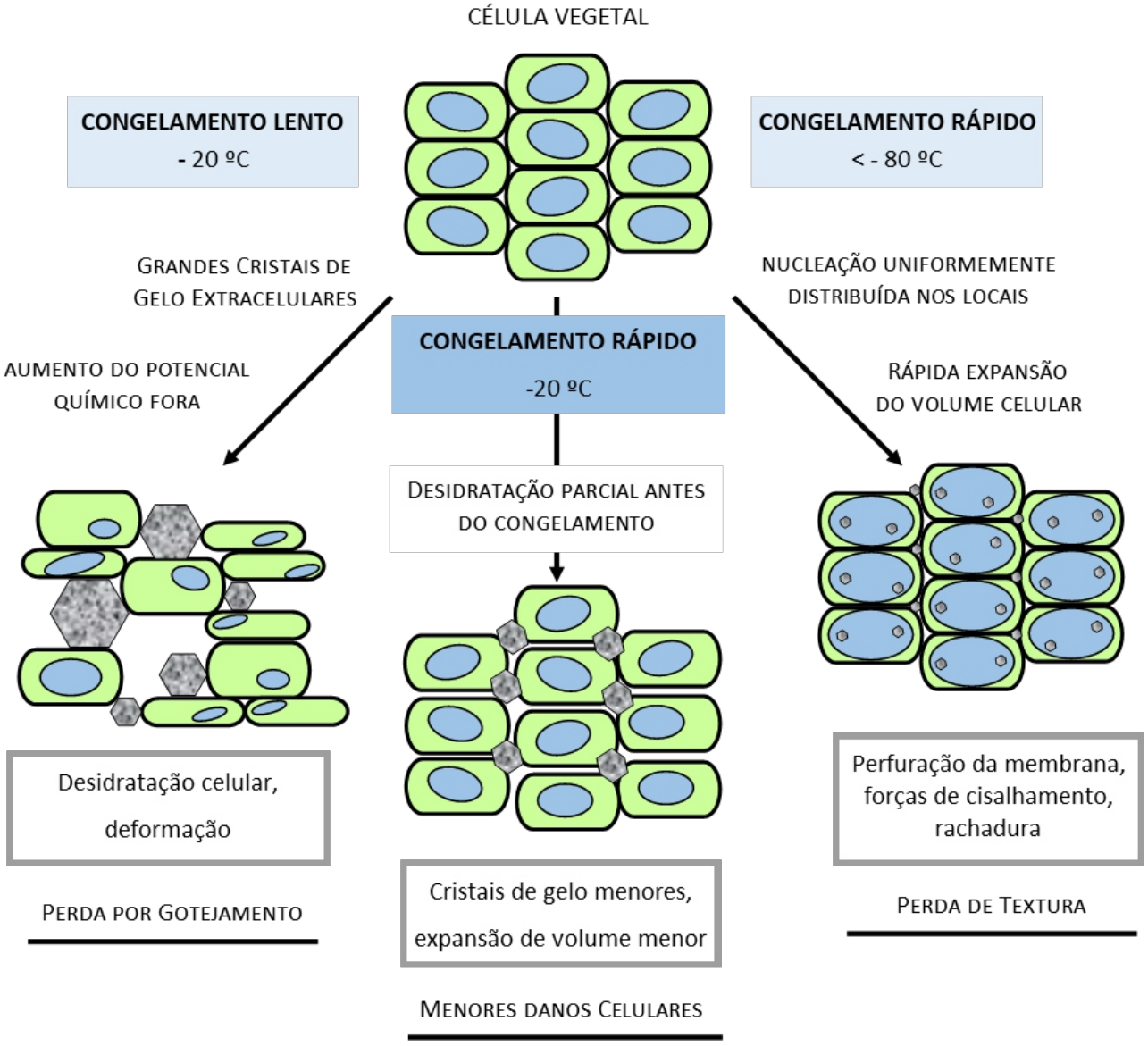
A diferenciação entre o *congelamento* e o *resfriamento* é dada pela temperatura que se expõem o alimento: no processo refrigeração a estocagem ocorre próxima a 5 ºC, enquanto que o congelamento visa a imobilização, mediante a baixas temperaturas, das moléculas, atingindo temperaturas próximas a -18 ºC (Pilon, Oetterer II, Galo & Spoto 2006; Nitzke, 2021). A temperatura de congelamento ideal para cada cultivar deve ser analisada em particular, pois as concentrações de sólidos interferirão na formação de cristais de gelo pelas diferentes associações com a água presente (Moraes, 2006).

Dentre as hortaliças resfriadas encontram-se as *in natura*, minimamente processadas e semiprocessadas. Estas mantêm características de frescor, mas deve-se atentar ao fato de que o resfriamento reduz, mas não cessa a respiração destes alimentos (Santos e Oliveira, 2012). Por ser uma forma de conservação do alimento, é indicado que aqueles mais perecíveis sejam armazenados e distribuídos também nas condições de resfriamento (Spagnol, Junior, Pereira & Filho *et al.* 2018).

É importante a aplicação do resfriamento rápido para vegetais em que o metabolismo pós-colheita é alto, sendo que a média de aceleramento da degradação a cada elevação em 10 ºC é duas ou três vezes maior (Moraes, 2006). Como um dos problemas acarretados pelo frio pode-se citar o *"pitting",* onde se nota, em frutos como a berinjelas, o bronzeamento da casca, amarronzeamento das sementes e da polpa (Klugev, 1998).

A temperatura de congelamento ideal para cada cultivar deve ser analisada em particular, pois as concentrações de sólidos interferem na formação de cristais de gelo pelas diferentes associações com a água presente (Moraes, 2006). O processo de congelamento pode afetar a textura e a coloração das frutas e hortaliças, sendo que ocorrendo rapidamente, pode promover a formação de cristais de gelo pequenos, uniformes e bem distribuídos, favorecendo o processo de descongelamento. Quando ocorre o congelamento lento, a formação dos cristais de gelo tem início no meio extracelular e consequentemente o aumento da pressão osmótica no meio intracelular ocorre, levando a célula ao rompimento por cristais de gelo grandes e pontiagudos, levando à desidratação pelo extravasamento da água intracelular e consequentemente a deformação (Liu, Zhang & Hu, 2021; Schude *et al.*, 2021). Como demonstrado na Figura 7, a exposição a temperaturas muito baixas e levando ao congelamento muito acelerado, também pode acarretar malefícios e perda de textura.

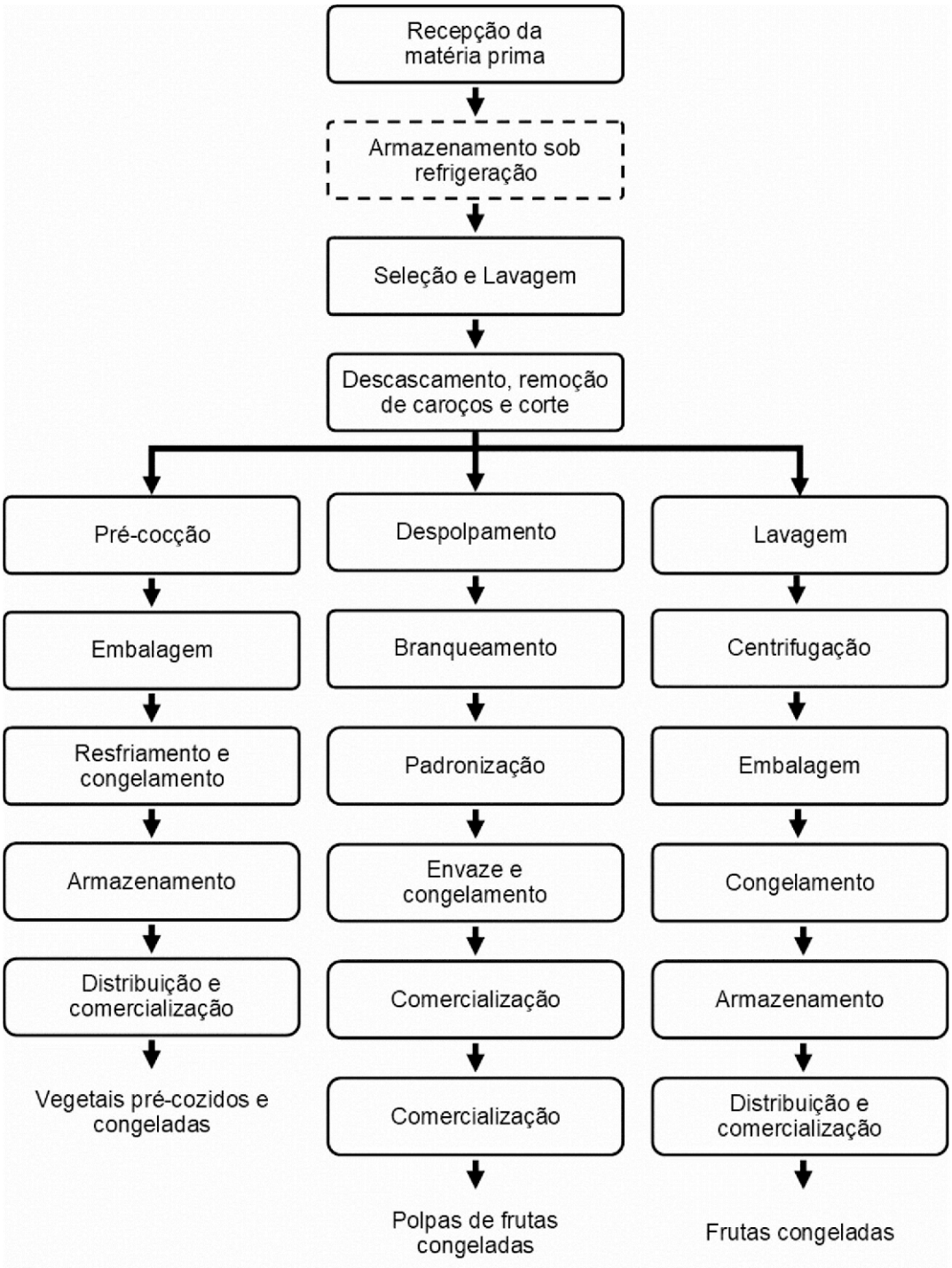
Figura 7 – Comparação dos impactos em células vegetais dos métodos de congelamento



Fonte: Traduzido e adaptado de Schude *et al.*, 2021.

Os fluxogramas de processamento de frutas e hortaliças congeladas podem se diferenciar de acordo com o produto final de interesse, como demonstrado na Figura 8. Esta figura exemplifica as rotas de produção de vegetais pré-cozidos, polpas de frutas e frutas congeladas.

Figura 8: Fluxograma de diferentes rotas de processo de frutas e hortaliças congeladas.



Fonte: Silva, (2000); Freire, *et al.*, (2005); Vilas Boas *et al.*, (2012); Oliveira, (2015).

De acordo com a Figura 8, as matérias-primas são recebidas e avaliadas quanto à presença de injúrias e qualidade. A higienização se divide em dois momentos, sendo o primeiro de pré-lavagem, onde são removidas as impurezas como terra, areia e seguindo para a submersão em solução clorada, 150-250 ppm por 10-15 minutos, a qual promoverá a remoção de impurezas associadas ao tecido da superfície.

Ressalta-se a importância do enxágue após a higienização. O descascamento, remoção de caroços e corte acontecem de acordo com as características do produto final e da cultura e nesse momento as etapas irão diferenciar-se (Silva, 2000; Freire, 2005; Oliveira 2015).

Após a etapa de corte, o processo de vegetais congelados pré-*cozidos* seguirá para o branqueamento, com o binômio tempo x temperatura diferenciando de acordo com a espécie e o tamanho em que as amostras estiverem sendo processadas, garantindo a segurança microbiológica e textura adequada. O branqueamento consiste na submersão da matéria-prima em água aquecida, por curto período de tempo a fim de eliminar possíveis contaminantes que possam estar presentes, sendo seguida diretamente para o processo de resfriamento impedindo assim que haja possibilidade de nova contaminação. Para manter a segurança do alimento, após a etapa da pré-cocção é retirada a água, o produto é embalado, resfriado e congelado, para ser armazenado até o momento de distribuição e comercialização (Silva, 2000).

Para a produção de polpa de frutas congeladas a matéria-prima passa pelo despolpamento, após o descascamento e remoção de caroços. Para a garantia de segurança, algumas empresas adotam o método de pasteurização, porém, por haver o risco de interferir nas características sensoriais do produto, nem todas as empresas adotam essa etapa. Visando a remoção de sementes e fibras indesejáveis a polpa é filtrada e homogeneizada para que na etapa seguinte, o envase, as porções apresentem as mesmas proporções e o congelamento ocorra de forma uniforme. Após congeladas, as polpas devem ser mantidas congeladas até o momento de uso (Freire, *et al.*, 2005; Oliveira, 2015).

Para a elaboração de frutas congeladas, quando já descascadas e sem caroços, seguem para a etapa de lavagem e centrifugação, respeitando a textura de cada fruto. São embalados, pesados e congelados, ao passo que devem ser mantidos sob temperaturas de congelamento até o momento de consumo (Vilas Boas *et al.*, 2012).

Segundo o que se preconiza na Resolução da Diretoria Colegiada nº 267 (2003), são considerados gelados comestíveis os produtos “obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento”. A Portaria MAPA nº 379 (1999) regulamenta os gelados comestíveis, preparados, pós para o preparo e bases para gelados comestíveis.

No Quadro 5 estão listados exemplos de produtos congelados como verduras e frutas congeladas, polpas de frutas e gelados comestíveis.

Quadro 5 – Exemplos de marcas e tipos de frutas e hortaliças congeladas.

Tipo de produto	Marca	Especificação
Verduras Congeladas	Bonduelle	Brócolis; couve flor; couve manteiga; ervilha; fava; fundo de alcachofra; milho; vagem; vegetais à grega (cenoura, ervilha, pimentão verde e vermelho); vegetais à macedônia (ervilha, cenoura, vagem e nabo); vegetais à mexicana (pimentão, milho doce, aipo, vagem fina, ervilha e cenoura); vegetais à oriental (brócolis, couve flor, repolho, vagem e cenoura); vegetais à russa (batata, ervilha e cenoura).
	Daucy	Brócolis; cenoura baby; champignon; espinafre (folhas, picado); vagens finas; couve flor; milho verde; ervilha; aspargos; fundo de alcachofra; mandioca em pedaços. Misturas: caribenha; chinesa; japonesa; tailandesa; 4 legumes; salada (russa, verão) legumes e quinoa. Temperos: alho picado; cebola picada.
	DeMarchi	Batata; beterraba; brócolis; cebola; cenoura; chuchu; couve manteiga; couve flor; ervilha; mandioca; mandioquinha; milho; tomate; vagem; batata préfritas.
	Ricaeli	Batata palito, seleta de legumes, brócolis, couve-flor, ervilha, mandioca tolete, milho, vagem.
Polpas congeladas	Caxifruti	Açaí; Abacaxi; Abacaxi com Hortelã; Acerola; Amora; Goiaba; Mamão; Manga; Maracujá; Melão; Morango; Uva; Pêssego; Laranja; Tangerina; Laranja; Verde; Detox Vermelho.
	QFruto	Abacaxi; abacaxi com hortelã; acerola; acerola com laranja; açaí médio; butiá (edições limitadas); caju; coco; cupuaçu; frutas vermelhas (polpa mista de morango, amora e framboesa); frutas amarelas (polpa mista de manga, maracujá e pêssego); graviola; jabuticaba (edições limitadas); kiwi; limão; laranja; mamão com laranja; mamão; manga; maracujá; maracujá com semente; morango; pêssego; tangerina; uva; fit: detox verde; detox laranja; detox roxo; clorifila; vitamina de frutas
	DeMarchi	Abacaxi; abóbora; açai; acerola; ameixa; amora; banana; cajá; caju; cenoura; coco; cupuaçu; framboesa; goiaba; graviola; jabuticaba; kiwi; laranja; limão; maçã; mamão; manga; maracujá; maracujá com semente; melancia; melão; morango; pêra; pêssego; pitanga; uva
	Ricaeli	Abacaxi; abacaxi e hortelã; açaí; acerola; acerola e laranja; amora; banana, mamão e maçã; cacau; cajá; caju; coco verde; cupuaçu; framboesa; frutas vermelhas; goiaba; graviola; kiwi; laranja; limão; mamão; mamão e laranja; manga; maracujá; melancia; melão; morango; pêssego; pitanga; tamarindo; tangerina; umbu; uva
Frutas congeladas	Caxifruti	Abacaxi; amora; framboesa; mirtilo (blueberry); morango; mix de Frutas Vermelhas Congeladas (Amora, Framboesa, Mirtilo e Morango)
	QFruto	Abacaxi; abacaxi em cubos hortelã; amora; acerola; framboesa; frutas vermelhas fruta (morango, amora e framboesa); morango; mirtilo; mamão; melão
	DeMarchi	Abacaxi; acerola; amora; blueberry; cassis; cereja; framboesa; groselha; kiwi; lichia; limão (raspa de limão); maçã; mamão; manga; melão; morango; pêssego
Gelados comestíveis	DeMarchi	Açaí sport: açaí + guaraná; açaí + guaraná (zero); açaí + guaraná + banana; açaí + guaraná + morango; açaí + mel + frutas vermelhas (golden); Açaíbites; Açaí búfalo; Sorbet: cupuaçu; framboesa; graviola; limão siciliano; manga; maracujá
	Ricaeli	Açaí com guaraná; açaí com guaraná e banana; açaí com guaraná

Fonte: Bonduelle, (2021); Caxifruti, (2021); Daucy, (2021); Demarch, (2021); Qfruto, (s. f.); Ricaeli Alimentos, (s. f.).

A Associação Brasileira de Indústrias de Sorvetes (ABIS) estima que são mais de 10 mil empresas ligadas ao setor de sorvetes e gelados, sendo dessas 92% micro e

pequenas empresas (ABIS, 2021). De acordo com a empresa Sorvedoces (2019), o consumo de gelados apresentou crescimento de cerca de 80%, quando comparou com os últimos 10 anos. Mesmo que o mercado estivesse em ascendência, o que se confirma pelos dados apresentados pela ABIS (2021), no ano de 2020 apresentou queda em relação ao consumo brasileiro, como demonstrado no Quadro 6, este comportamento não afetou as atividades da empresa ALIBRA, fornecedora de insumos para lácteos e não lácteos com grande atuação no setor de alimentos, demonstrado que o nicho do mercado de gelados comestíveis tem grande potencial de atuação e crescente desenvolvimento, até mesmo durante o período adverso (Campos, 2020; Cavalcante, 2021).

Quadro 6: Comportamento do consumo de sorvetes e gelados comestíveis por ano no Brasil.

Ano	Consumo em Milhões (L)	Consumo per capita L/ano
2017	1.068	5,14
2018	1.099	5,27
2019	1.107	5,29
2020	1.050	4,98

Fonte: ABIS (2021).

2.5 Conservas acidificadas

A baixa vida útil dos vegetais faz com que sejam buscadas alternativas para minimizar as suas perdas. Com isso, a elaboração de produtos como conservas, produtos minimamente processados e molhos à base de vegetais tem sido utilizada como alternativa que possa possibilitar agregação de valor ao produto e ampliar a competitividade promovendo um aumento de renda para os produtores (Melo, Guilhome, Nascimento, Barbosa Júnior & Barbosa, 2012).

A produção de conservas é uma forma de aumentar a vida de prateleira ou *shelf life* desses vegetais possibilitando associar o melhoramento das qualidades sensoriais com a elaboração de um novo produto com um diferencial para o consumidor (Faria, Bressan, Vieira & Pereira, 2010). Além disso, segundo Belik (2020), com dados de Pesquisa de Orçamentos Familiares (2017-18), alimentos da classe de enlatados e conservas representam 0,6% nas compras de alimentos para consumo em domicílios de famílias com renda de até 2 salários mínimos e para famílias com renda de mais de 15 e 25 salários mínimos representam 1,2%.

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada nº 352 (2002), hortaliça em conserva pode ser entendida como o produto preparado a partir de tubérculos, raízes, rizomas, bulbos, talos, brotos, folhas, inflorescências, pecíolos, frutos, sementes e cogumelos cultivados, cujas partes comestíveis são envasadas praticamente cruas, reidratadas ou

pré-cozidas, imersas ou não em líquido de cobertura apropriado, submetidas a processamento tecnológico antes ou depois de fechadas hermeticamente nos recipientes utilizados com a finalidade de impedir sua alteração. Dentre as conservas acidificadas tem-se as conservas de baixa acidez caracterizada por pH superior que 4,5 e atividade de água maior que 0,85. Devido a essas características elas são propensas a contaminação microbiana, o que torna necessária a realização de uma etapa de esterilização para assegurar a sua conservação.

As empresas que oferecem esses produtos variam suas embalagens entre vidro (Figura 9A), metal (Figura 9B) e plástico (Figura 9C), também com capacidades que variam de 100g a 540g quando destinado a consumo doméstico, oferecendo embalagens com 5kg ou 6kg para o setor de *food service*. Dentre os alimentos de origem vegetal mais comuns processados dessa forma citam-se alho, azeitonas, batata, beterraba, cebola, ervilha, milho, palmitos, pepino, pimenta, tomate seco, tendo como exemplos as empresas citadas no Quadro 7.

Figura 9: Diversos tipos de embalagens aplicados a picles e conservas acidificadas.



Fonte: Figueira, 2017; Silgan White Cap, 2021, Plastilânia (s.f.).

Quadro 7 – Quantidade de opções de conservas vegetais de algumas marcas

Marcas	Conservas
Bonduelle	- Palmito pupunha (inteiro, picado, espaguete); azeitona (com caroço, sem caroço, fatiada); champignon (inteiro e fatiado).
Brasil Frutt	- Alcaparra, alho, azeitonas (azapa, gordal com caroço, gordal recheada com pimentão, gordal sem caroço, portuguesa galega, preta com caroço, preta fatiada, preta sem caroço, verde com caroço, verde fatiada, verde recheada com pimentão, verde sem caroço), ce bolinha, cogumelo (fatiado, inteiro), pepino, picles, pimenta biquinho, tremoço, tremoço gigante, palmito (juçara tolete, palmeira real) e tomate seco.
Conserva Almeida	- Vegetais: pepino; cenoura; couve -flor; beterraba; brócolis; vagem; cebola tinto; cebola; cebolinha; - Palmitos: palmeira real (tolete, picado, rodelas); pupunha picado; - Azeitonas verdes: com caroço; sem caroço; recheadas; fatiadas; - Temperos: champignon (fatiado; inteiro); pimenta biquinho; tomate seco; alcaparras.
Hemmer	- Corações de alcachofras; alcaparras; alho; aspargos; aspargos verdes; mix; azeitonas pretas (fatiadas, com caroço, sem caroço); azeitona pretas azapa (com caroço, sem caroço); verdes (fatiadas, recheadas com pimentão, com e sem caroço); beterrabas ; cebolinha cristal; cebolinhas agridoce; chucrute; cogumelos (inteiros e fatiados); gengibre; grão de bico; palmito açaí; palmito juçara (tolete e picado), palmito pupunha; relish de pepino agridoce; pepino tipo sunomono; picles suave; pepino mexicano; pe pinos em vinagrete; pimenta biquinho; pimentões; repolho roxo; tomate seco.

Continua

Continuação

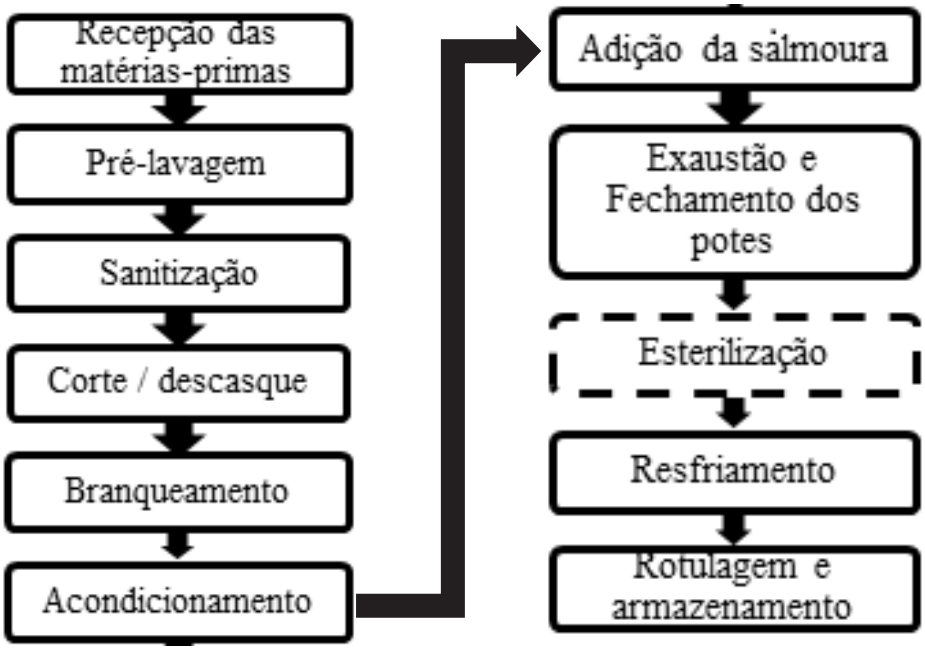
Marcas	Conservas
Predilecta	- Azeitona (caroço, fatiada, sem caroço, recheado); champignon; palmito (inteiro e fatiado).
Tio Paco	- Azeitonas verdes (com caroço, fatiadas, recheadas, sem caroço); azeitonas pretas (com caroço, azapa, fatiadas, sem caroço); champignon (inteiros, fatiados); palmito (inteiro, petisco, rodelas, picado, espaguete, lasanha); aspargos; alcaparras; cebolinhas ; pepino; picles; tremoço; mini milho; mix napolitano; pimenta biquinho; tomate seco.

Fonte: Bonduelle, (2021); Brasil Frutt, (s. f.); Conservas Almeida, (2021); Hemmer, (2021); Predilecta Alimentos, 2021; Tio Paco, 2021.

Alguns microrganismos patogênicos tais como *Listeria monocytogenes* e *Clostridium botulinium* podem ser encontrados naturalmente no solo, outros do tipo enteropatogênicos como a *Escherichia coli* podendo ser encontrados via manipuladores, são microrganismos que ocasionam a contaminação do alimento e acarretam danos aos consumidores. Em virtude disso, a etapa de acidificação dos vegetais exibe a vantagem de inibir a contaminação microbiana por meio da diminuição do pH. Associado a essa inibição microbiana também é aplicada a etapa de esterilização que irá contribuir para a intensificação da prevenção microbiana (Lima *et al.*, 2009; Maldonade, 2009).

Os princípios básicos para o processamento de hortaliças em conservas e picles são: limpeza e esterilização dos vidros, recepção da matéria-prima, seleção, higienização, branqueamento, envase, adição de salmoura, tratamento térmico, resfriamento, rotulagem e armazenagem (Picoloto & Pfüler, 2014). O fluxograma das etapas de processo está disposto na Figura 10.

Figura 10: Fluxograma do processo de elaboração de conservas acidificadas



Fonte: Adaptado de Nascimento, Nunes e Nunes (2011).

O processo de produção de conservas acidificadas inicia-se com recepção das matérias-primas, seguida pela pré-lavagem dos vegetais com água de boa qualidade e resfriada com o objetivo da remoção de sujidades físicas. A sanitização é aplicada com o objetivo de reduzir a carga microbiana superficial remanescente pelo contato com água resfriada com concentrações entre 150 – 200ppm de hipoclorito de sódio, seguido de enxágue. Outros agentes sanificantes podem ser utilizados. A retirada da casca e corte são dependentes da estrutura do vegetal a ser processado, mas em linhas gerais podem ser realizados com apoio de equipamentos, agentes químicos ou manualmente (Krolow, 2006).

O branqueamento é uma das etapas mais importantes da tecnologia, realizada com a função de redução de carga microbiana, inativação de enzimas, retirada de gases oclusos, amolecimento do alimento e manutenção da cor. O fundamento da operação é o contato do vegetal por tempo determinado em água fervente e logo após banho em água gelada. Souza, Costa e Chauca (2018) concluíram que o contato com a água quente por 3 minutos resultou em maxixinhos (*Coccina grandis L.*) com melhores características sensoriais. O acondicionamento é a etapa de transferência das hortaliças para a embalagem, sendo esta realizada de forma que fique atrativo ao consumidor, já que as embalagens são geralmente transparentes como o caso do vidro. À embalagem então é adicionado o líquido de cobertura com a função de preservação pela acidificação e aporte de sabor em casos específicos. O líquido de cobertura pode ser composto, por exemplo, por 73% de água potável, 25% de ácido acético e 2% de cloreto de sódio (Krolow, 2006).

Como a inclusão do líquido de cobertura pode acumular ar nas estruturas dos vegetais é necessária a aplicação da exaustão, etapa realizada pelo aquecimento da embalagem com os vegetais arrumados e o líquido de cobertura, para a retirada do ar, evitando desta forma a presença de oxigênio e possíveis reações futuras de oxidação. No fim desta etapa os potes são hermeticamente fechados. A esterilização é realizada em alimentos de baixa acidez, é facultativa e seguida de resfriamento e rotulagem (Krolow, 2006).

Alguns estudos relatam o desenvolvimento de picles como uma atividade para obtenção de renda para os pequenos produtores, além de ser uma forma de exploração de Plantas Alimentícias Não-convencionais (PANC's). Podem ser compreendidos como PANC's, vegetais que com o passar do tempo perderam espaço no mercado para os vegetais convencionais, normalmente são comercializados em pequenas feiras e são responsáveis por contribuir para a economia dos pequenos produtores (Souza, Costa & Chauca, 2018).

Carvalho, Gouvêa, Ferreira, Barbosa e Barbosa (2014) caracterizaram as propriedades químicas, microbiológicas e nutricionais de picles elaborados com pepino (*Cucumis sativus L.*) e com nabo (*Brassica campestris L. var. rapa*) orgânicos produzidos por agricultores familiares. Os picles elaborados estavam dentro dos padrões microbiológicos de qualidade exigidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o que possibilita inferir que as normas de Boas Práticas de Fabricação (BPF) foram seguidas pelos agricultores satisfatoriamente. Quanto ao valor nutricional, os picles apresentaram baixo valor calórico, entretanto exibiram alto teor de sódio, o que torna necessário a realização de ajustes na formulação dos produtos elaborados.

Em estudo da caracterização de picles de maxixe, um vegetal não-convencional, Lima *et al.* (2009) verificaram um alto teor de umidade do produto e composição química dentro do preconizado pela literatura. Com relação à aceitação sensorial, houve uma boa aceitação (gostei moderadamente) e 60% das pessoas disseram que certamente comprariam este produto.

Souza, Costa e Chauca (2018) estudaram a influência do tempo do tratamento térmico na elaboração de conserva de maxixinho (*Coccinia grandis*), uma hortaliça não-convencional encontrada no Norte de Minas Gerais. Observaram que todas as conservas apresentaram o pH dentro do estabelecido pela legislação. O tempo do tratamento térmico influenciou na textura e na cor da conserva, sendo que com 3 minutos apresentou maior tendência ao verde e maior firmeza, no entanto, a conserva elaborada com 6 minutos teve uma maior preferência sensorial.

No desenvolvimento de conserva acidificada de abobrinha italiana Caetano, Leão, Gonçalves, Parizotto e Rocha (2013) avaliaram as características físico-químicas e microbiológicas durante 120 dias. O pH permaneceu inferior a 4,5 conforme recomendado pela legislação, porém a acidez em ácido acético não atingiu os valores estabelecidos pela legislação (0,5 a 1,5%). Quanto à análise microbiológica, todos os resultados exibiram resultados negativos, o que pode inferir que a elaboração da conserva seguiu os padrões estabelecidos pela ANVISA e a elaboração deste produto é uma alternativa viável para aumentar o tempo de conservação deste vegetal.

A elaboração de conservas e picles é uma forma de agregar valor ao produto e prolongar a vida útil dos vegetais. Por meio deste tipo de produto é possível explorar os frutos e hortaliças não-convencionais ofertando como uma nova alternativa de consumo. No entanto, é necessário pesquisas para que possa ampliar os tipos deste produto e, quando necessário, apresentar produtos com teor de sódio reduzido, uma vez que cada dia se recomenda mais a diminuição deste.

2.6 Açúcar

De acordo com Vidal (2020), nas safras 2019/20 de cana-de-açúcar o Brasil foi responsável por 18% da produção mundial e 36% da exportação do produto, sendo o primeiro do ranking mundial, seguido pela Índia com 17% de produção e os países da União Europeia com 10%, onde os últimos foram considerados os maiores consumidores nesse período de safras.

Não apenas pela produção de açúcar, como item fundamental aos consumidores e demais indústrias, o processamento da cana-de-açúcar também gera outros itens como o etanol e seus resíduos podem ser utilizados para a produção de energia e fertilizante para o solo, razão

pela qual é considerada uma cadeia produtiva sustentável. O país hoje conta com 434 indústrias sucroenergéticas, onde 88 dessas unidades comercializam seus excedentes de energia, iniciativa incentivada pelo Prêmio Energia Brasil (Única, 2020; Tolentino, 2021)

A estimativa de comparação entre as safras 2019/20 e 2020/21, em maio de 2021, expressou que a produção de cana-de-açúcar destinada à produção de açúcar foi de 224.550,0 mil/t e 300.060,2 mil/t produzindo respectivamente 29.795,7mil/t e 41.254,3 mil/t, variando cerca de 38,5%. Enquanto que para o etanol, houve redução de 15,2% de cana-de-açúcar destinada à sua produção, dado explicado pela redução da mobilidade dos brasileiros mediante a pandemia da COVID-19 (CONAB, 2021b; Santos, 2021). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2021), a produção de cana-de-açúcar na safra de 2021 foi 3,1% menor quando comparada à safra do ano anterior.

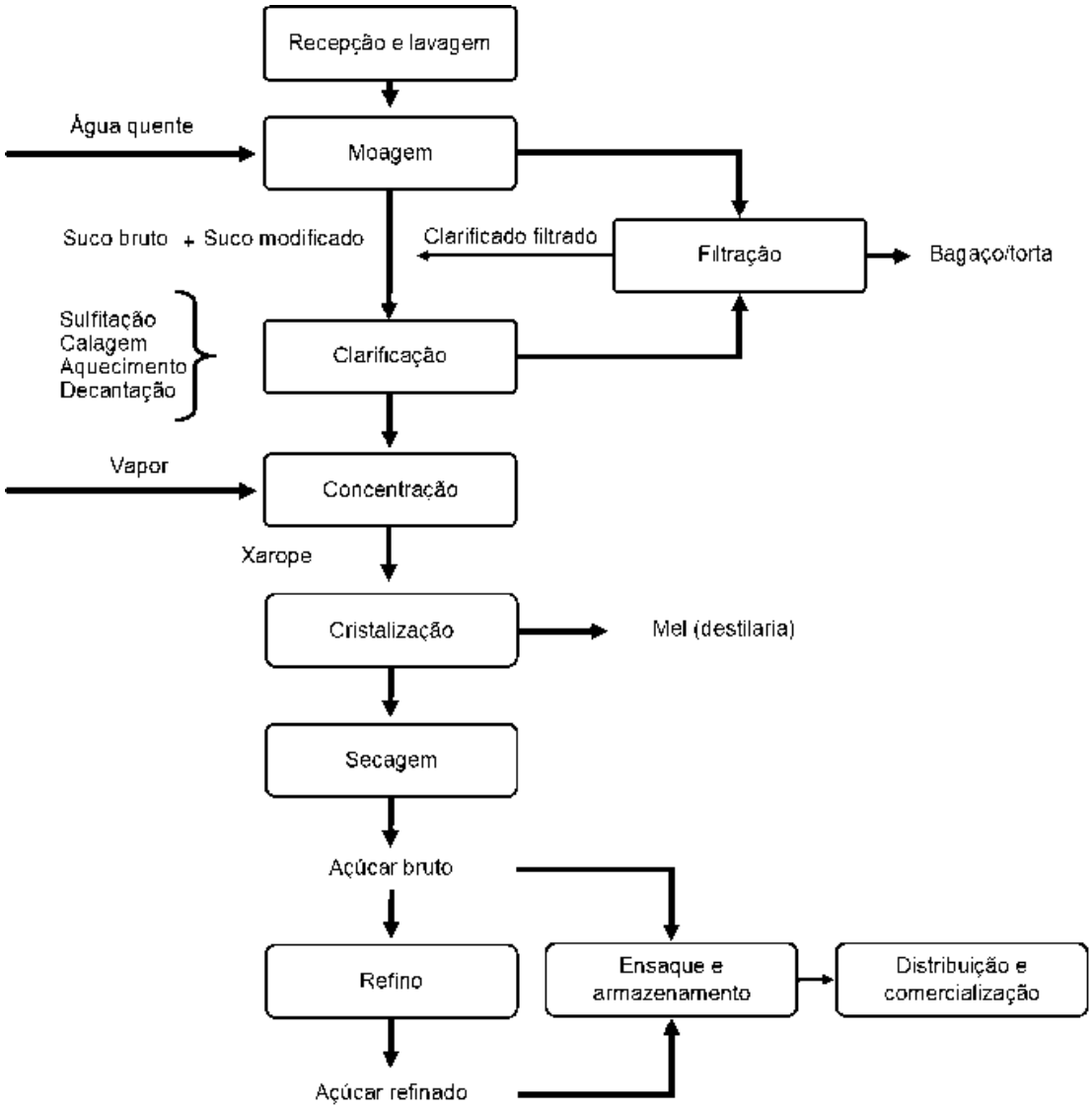
Para a produção por cana-de-açúcar, as atenções desde o momento de colheita passando pelo transporte (que engloba o carregamento, locomoção e descarregamento) até a lavagem devem ser redobradas, pois por se tratar de uma matéria-prima propícia ao crescimento microbiológico (presença de água e açúcares) pode inviabilizar a utilização da matéria-prima (Alcarde, s. f.).

O açúcar, ou sacarose comercial, de acordo com a Instrução Normativa nº 47 (2018), é o produto da secagem do líquido extraído da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), matéria prima utilizada também na produção de álcool. A sacarose, assim como a glicose, é carboidrato de baixo peso molecular, com capacidade de produção em larga escala, podendo originar de diversas fontes, sendo no Brasil a matéria mais utilizada (cana-de-açúcar) com rentabilidade de cerca de 12,5 % de sacarose, pela sua adaptação ao clima e solo nacional quando comparada à beterraba açucareira (*Beta Vulgaris*) que tem entre 14-20% de sacarose (León, Villegas, Elías & Chu, 2020). Os outros constituintes da cana se dividem entre açúcares redutores, água e fibra (Tolentino, 2021).

Após a recepção da matéria-prima, onde são realizadas as avaliações como averiguação de injúrias, sólidos solúveis e temperatura, a cana-de-açúcar segue para o processo de lavagem e moagem, com auxílio de água para que seja otimizada a extração de sacarose. A qualidade da água utilizada é um ponto importante de controle para evitar possíveis contaminações. O suco bruto, produto extraído e filtrado, passará pela clarificação, ou seja, etapa da qual serão removidas impurezas, dissolvidas ou em suspensão para a obtenção de um caldo claro, brilhante e transparente (Payene, 1989; Machado, 2012; Cambaúva, 2020).

Na Figura 11 está apresentado o fluxograma de processamento de cana-de-açúcar.

Figura 11: Fluxograma de processamento da cana-de-açúcar para produção de açúcares e seus derivados



Fonte: Adaptado de Alcarde, (s. f.) e Cambaúva (2020).

O processo de clarificação ocorre de forma a não afetar a sacarose, com a combinação dos processos de calagem, sulfitação, fosfatação e carbonatação. O leite de cal é adicionado ao suco bruto, levado ao aquecimento promovendo, assim como a sulfitação, a floculação das impurezas. Os tratamentos com anidro sulfuroso, ácido fosfórico e anidro de carbono, são também realizados, visando à eliminação de compostos que não fazem parte da estrutura do açúcar e redução da turbidez. Mesmo que seja comum a utilização de cal, o composto pode implicar em riscos à saúde dos consumidores, com isso vem sendo estudadas alternativas de substituição. O caldo clarificado passa por filtração e retorna para passar novamente pela clarificação e filtração, a fim de obter um suco puro, ou suco clarificado, que será concentrado pela ação de vapor e depois cristalizado gerando o açúcar bruto (ou demerara), que dependendo da etapa de refino gerará os açúcares cristal e refinado (Payene, 1989; Machado, 2012; Cambaúva, 2020).

De acordo com o tipo de processo, a sacarose pode ter diferentes características químicas, nutricionais, tecnológicas e sensoriais, sendo os açúcares mais comuns no mercado o mascavo, demerara, cristal e refinado. O açúcar mascavo foi um dos primeiros produtos do setor, passou por um período de pouco consumo, retornando o consumo com a tendência da busca por produtos mais naturais. Este açúcar é um produto com maior aporte nutricional por não passar pelos processos de refinamento, mantendo assim vitaminas e minerais (Ca, K, Fe, Mg, F) e com teor de sacarose em torno de 90% (Destro et al., 2019). Em contrapartida, apresenta maior intensidade de sabor e umidade (mais de 8%), dificultando, respectivamente, a aceitação do público e seu armazenamento e distribuição (Andrade et al., 2018). Mesmo com seu consumo ascendente, ainda não foram estabelecidas especificações legais para o produto. No Quadro 8 estão apresentados exemplos de empresas e os respectivos tipos de açúcares comercializados.

Quadro 8 – Exemplos de empresas sucroalcooleiras brasileiras e seus produtos

Marcas	Mascavo	Demerara	Cristal	Refinado/Triturado
Alegre		X	X	X
Barra		X		X
Caravelas		X	X	X
Jasmine	X			
Mais Vita - Yoki	X			
Native	X	X	X	
União	X	X	X	X

Fonte: Açúcar Alegre, (s. f.); Açúcar Caravelas, (s. f.-a); Açúcar da Barra, (s. f.); Jasmine Alimentos, (s. f.); Mais Vita, (2018); Native Orgânicos, (s. f.); União, (2021).

A abordagem sobre o processo produtivo do açúcar e suas características é importante para o entendimento do material como ingrediente chave na indústria de alimentos. Além de conferir características sensoriais como sabor, brilho e corpo, o açúcar é um agente ligante às moléculas de água livres no alimento. Esta ligação traz ao açúcar a propriedade de reduzir a atividade de água do meio, aumentando a vida de prateleira dos alimentos aplicados. O uso do açúcar em formulações como geleias, doces em massa, compotas e doces cristalizados são fundamentais para a viabilidade das tecnologias.

2.7 Geleia

De acordo com a Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos nº 12 (1978), geleia de fruta é o produto obtido pela cocção de frutas inteiras ou em pedaços, polpa ou suco de frutas, com açúcar e água e concentrado até consistência gelatinosa. Em complemento, a Resolução da Diretoria Colegiada nº 66 (2007) alterada pela Resolução da

Diretoria Colegiada nº 8 (2013) trazem informações sobre os aditivos alimentares permitidos para aplicação em geléias. Na Figura 12 está a imagem do exemplo de geleia e na Figura 13 o fluxograma de produção de geleias.

Figura 12: Geleia de abacaxi com alecrim



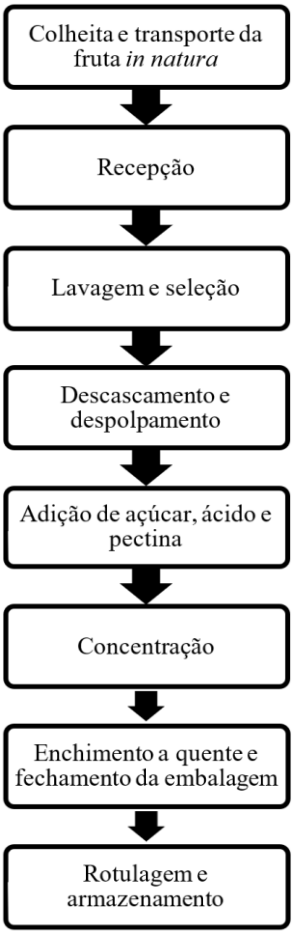
Fonte: Autores (2021).

As frutas utilizadas para produção de geleia devem ser colhidas no estádio de maturação no qual possa ser transportada sem que seja danificada. É importante observar o estádio de maturação em que a fruta se encontra, pois, frutas verdes possuem maior concentração de pectina, substância responsável por formar gel, entretanto, com o amadurecimento a pectina é convertida em ácido péctico que não possui propriedade geleificante (Torrezan, 1998).

Para garantir a qualidade do produto, todas as etapas devem ser realizadas nas condições higiênicas ideais. Oetterer, Arce e Spoto (2006) relatam que deve ser iniciado desde o transporte, devendo ser realizado em veículos fechados, limpos e arejados, evitando transportar as matérias-primas de origem vegetal por longas distâncias, uma vez que são altamente perecíveis. Caso haja a necessidade de transporte por longas distâncias, o ideal é utilizar veículos com sistema de refrigeração para que as perdas sejam minimizadas.

As frutas de produção sazonal ou com elevados picos de produção devem ser conservadas de maneira a garantir que o método de conservação não interfira na qualidade da geleia produzia (Torrezan, 1998), uma vez que a legislação veta a adição de corantes e aromatizantes em geleias de frutas (Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos nº 12 (1978). Portanto, é necessário adotar medidas que garantam a integridade da matéria-prima.

Figura 13: Fluxograma geral de produção de geleias.



Fonte: adaptado de Torrezan (1998)

Cada fruta apresenta uma particularidade, com isso tanto o descascamento quanto o despolpamento variam muito de uma fruta para a outra. Dessa forma, o descascamento pode ser mecânico, químico por imersão em lixívia ou solução ácida, ou pelo calor. No caso do descascamento realizado por via química, é necessária lavagem abundante em água fria. Independentemente do método escolhido, o descascamento deve ser realizado com cuidado para evitar perdas provenientes das injúrias mecânicas que podem ocorrer devido a manipulação das frutas (Oetterer, Arce & Spoto, 2006).

Além da qualidade dos frutos, a formulação da geleia é essencial para que ocorra a obtenção do produto de forma característica. A geleia forma-se a partir da interação da pectina com o açúcar e o ácido, sendo que essa interação é responsável pela rede fibrilar que é capaz de reter moléculas de água, formando o gel das geleias em pH entre 3,1 e 3,4. Em pHs mais ácidos que esta faixa ocorre a sinérese – rearranjo das moléculas do gel e consequente expulsão das moléculas de água – e as geleias podem sofrer oxidação da água. Entretanto, valores de pH mais elevados inibem a formação da geleia (Oetterer, Arce & Spoto, 2006).

Para a formação da geleia, a acidez é fundamental, dessa forma, a adição de ácido, ácido cítrico e ácido tartárico, por exemplo, proporciona a acidez necessária, deste modo, conhecer a capacidade tamponante da fruta utilizada proporciona a quantidade correta de ácido a ser adicionado para que se obtenha uma geleia (Oetterer, Arce & Spoto, 2006).

O açúcar é um ingrediente fundamental para a produção de geleia. Utiliza-se a sacarose para a produção de geleia, sendo que durante a cocção e em meio ácido, esse açúcar é hidrolisado em monossacarídeos, a saber, frutose e glicose. Essa hidrólise proporciona aspecto sensorial desejável, pois os monossacarídeos são mais solúveis que o dissacarídeo, sacarose, evitando o aparecimento de cristais de açúcar na geleia concentrada (Gava, Silveira & Frias, 2009). O açúcar é responsável por desestabilizar a pectina formando uma rede tridimensional que retém a água no interior, essa rede é denominada gel. A estrutura dessa rede é por meio de ligações de hidrogênio, ligações hidrofóbicas, ligações iônicas, ligações covalentes e força de Van der Waals (Pereda, 2005).

As substâncias pécticas são coloides presentes nas cascas de vegetais, ou seja, as substâncias pécticas são exclusivamente pertencentes ao reino vegetal. Algumas enzimas, principalmente a pectinesterase e poligalacturonase hidrolisam a pectina presente nos vegetais, dessa forma, vegetais mais verdes apresentam maior teor de pectina, entretanto, a produção de geleia é feita com frutos maduros, portanto, ter conhecimento do teor de pectina no fruto para definir se a adição de pectina é de fato necessária (Gava, Silveira & Frias, 2009).

De acordo com a legislação brasileira, uma geleia de frutas deve obrigatoriamente ter o teor de sólidos solúveis entre 65-70% após ser resfriada. Dessa forma, a concentração é o processo de cocção no qual o suco de fruta, juntamente com o açúcar e o ácido são reduzidos até atingirem o teor de sólidos solúveis desejado (Torrezan, 1998).

Embora o vidro seja o material mais utilizado para acondicionar geleia, também se utilizam latas de estanho ou embalagens plásticas. As embalagens são higienizadas e seguem para o enchimento já aquecidas, evitando choque térmico, o que diminui os danos da embalagem. Devido a viscosidade, a geleia é envasada a quente, o que também diminui o risco de contaminação cruzada (Torrezan, 1998). A própria geleia quente funciona como esterilizante da embalagem e do ar interno.

A rotulagem é elaborada com a designação da fruta que origina a geleia, por exemplo, “geleia de morango”. As embalagens devem ser armazenadas em locais frescos e arejados, sem incidência de luz e com ausência de insetos e roedores.

No Quadro 9 estão exemplificadas empresas e tipos de geleias comercializadas.

Quadro 9: Exemplos de geleias comerciais por marca e sabores.

Marcas	Tipos	Sabores
Queensberry	Tradicional	Amora; damasco; framboesa; frutas vermelhas; goiaba; laranja; mirtilo; morango
	Diet	Amora; Damasco; Framboesa; Frutas Vermelhas; Goiaba; Morango
	Inovações	- *Wellness* (sem açúcar) : amora; damasco; frutas vermelhas; mirtilo; morango - Gourmet: pimenta vermelha; menta e hortelã; pimenta suave jalapeño, morango com laranja.
Linea	Inovações	Sem açúcar: abacaxi com hortelã; amora; cebola caramelizada; damasco; framboesa; goiaba; jabuticaba; mirtilo; morango; pimenta vermelha; frutas vermelhas.
Ritter	Tradicional	Abacaxi; amora; figo; framboesa; frutas vermelhas; goiaba; mirtilo; morango; pêssego; uva
	Light	Abacaxi; framboesa; frutas vermelhas; goiaba; maçã; morango; pêssego; uva.
	Diet	Abacaxi; amora; framboesa; goiaba; laranja; morango; pêssego; uva.
	Inovações	- 100% Fruta: amora; frutas vermelhas; mirtilo; morango; pêssego; damasco; - Zero açúcar: figo; goiaba; morango; pêssego; - Gourmet: damasco com pimenta; abacaxi com gengibre; alho caramelizado; cebola caramelizada; cerveja tipo IPA; cerveja tipo STOUT; hortelã; pimenta vermelha.
Homemade	Tradicional	Morango com biomassa; açaí e banana verde; morango.
	Inovações	- Gourmet: pimenta; abacaxi; morango; tomate, pimenta e cebola; abacaxi com hortelã; morango com cranberry; - Zero: morango com biomassa; - Caramelizadas: cebola; gengibre; bacon; - Sensações: morango com chocolate; damasco com amaretto; framboesa *red velvet* .
Casa Madeira	Inovações	- Gourmet: *cabernet sauvignon* ; abacaxi com pimenta; amora; café; damasco; frutas vermelhas; laranja; maçã; *malbec* ; manga com pimenta; mirtilo; morango; morango com pimenta; pimenta; uva; - Orgânica: amora; morango; uva; - Zero: amora; blueberry; damasco; framboesa; frutas vermelhas; morango; uva.

Fonte: Casa Madeira, (2021); Homemade - Mercado Livre, (s. f.); Linea Alimentos, (s. f.); Loja Ritter, (s. f.); Queensberry, (s. f.).

2.8 Doce em massa

Também denominado de doce em pasta, o doce em massa é o produto resultante do processamento adequado das partes comestíveis desintegradas de vegetais envolvendo açúcares na sua fabricação, podendo ser adicionado opcionalmente de água, pectina, regulador de pH, outros ingredientes e aditivos permitidos por estes padrões até obter-se a consistência apropriada. Esses doces podem apresentar pedaços de vegetais (Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos nº 12, 1978).

De acordo com a Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos nº 12 (1978) a denominação de venda é determinada pelo nome da fruta utilizada acrescido do sufixo "ada", por exemplo a goiabada quando o doce em massa é feito de goiaba, entretanto, essa denominação é válida somente quando tratar-se apenas de uma fruta. Quando o doce em massa for produzido a partir de duas ou mais frutas, ele será designado como "doce em massa" seguida do nome da fruta ou frutas empregadas na sua produção, podendo ser chamado doce em massa "misto". Ao utilizar pedaços de frutas a designação é acrescida das palavras "com pedaços" ou "cascão". Na Figura 14 está um exemplo de goiabada cascão.

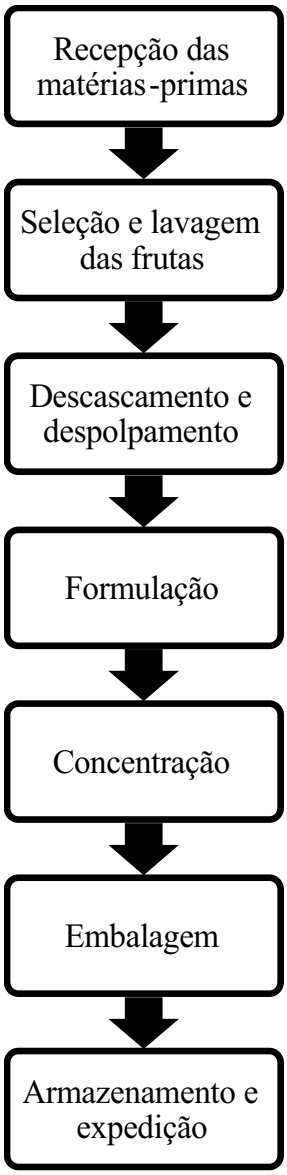
Figura 14: Goiabada cascão.



Fonte: Autores (2021)

A produção de doces em massa é uma maneira encontrada para conservar as frutas através da adição de açúcar e, consequentemente, pela redução da atividade de água. Dessa forma, limita-se o crescimento de microrganismos, uma vez que a transferência de calor durante o processamento do doce reduz significativamente a carga microbiana (Gava, Silveira & Frias, 2009). Na Figura 15 é possível identificar o fluxograma de produção do doce em massa.

Figura 15: Fluxograma de produção do doce em massa.



Adaptado de Torrezan (2015).

As frutas são recepcionadas e retiradas àquelas que apresentam injúrias mecânicas e/ou contaminações microbiológicas. Nesse caso, as frutas podem ser utilizadas em estágios de maturação diversos. Para produção de doce em massa a quantidade de frutas verdes não deve ultrapassar 10% do volume total de frutas. Os ingredientes são recepcionados e devem estar isentos de impurezas, normalmente para produção de doce em massa utiliza-se o ácido cítrico e o açúcar (Silva, 1997).

Cada fruta possui uma embalagem adequada para ser transportada, dessa forma, podem ser recebidas em caixas ou sacos, sendo imediatamente pesadas na recepção. Posterior à pesagem ocorre as análises visuais acerca do estado físico das frutas, quando é necessário armazenar as frutas, o ideal é que as frutas sejam armazenadas sob refrigeração de forma

correta, uma vez que altas temperaturas são prejudiciais à qualidade das frutas, além disso, é necessário que as frutas sejam armazenadas depois de limpas e sanificadas para evitar ou reduzir o desenvolvimento de fungos (Torrezan, 2015).

Para a elaboração de doce em massa, as frutas maduras resultam em um sabor melhor, cor e aroma mais atrativos, além do teor de açúcar elevado. Entretanto, as frutas ligeiramente verdes possuem maior teor de pectina em comparação às frutas muito maduras. Portanto, o ideal é utilizar a mistura de frutas ligeiramente verdes e maduras, desde que não ultrapasse o limite de 10% das mais verdes. Além da pectina presente nas frutas, para elaborar doces em massa é recomendável que a fruta seja ácida, mas na ausência ou baixíssima concentração desses compostos, a legislação permite a adição tanto de pectina quanto de ácido, normalmente utiliza-se ácido cítrico (Silva, 1997; Torezan, 2015).

O ideal é que essas frutas passem por uma pré-lavagem para remover o excesso de terra que se adere aos tecidos externos das frutas, essa etapa pode ser feita por imersão ou aspersão. Após a pré-lavagem, as frutas são imersas em água clorada, por aproximadamente 15 a 20 minutos, na proporção de 10 ppm de hipoclorito de sódio, para que ocorra a desinfecção da matéria-prima. A lavagem pode ser realizada por três métodos: imersão, agitação em água ou aspersão. O método mais simples, consequentemente o método mais utilizado, é a imersão que pode ser em tanques de aço inox, PVC ou de alvenaria, revestidos com azulejo ou resina epóxi. Entretanto, o método mais eficiente combina dois métodos: a imersão e a aspersão, dessa forma, ocorre o reaproveitamento da água (Lovatto, 2016).

Para a elaboração do doce é necessário realizar o descascamento. Cada fruta possui especificidades que determinam o melhor tipo de descascamento para minimizar as perdas durante essa etapa. Frutas como a banana e o mamão, por exemplo, necessitam previamente de descascamento manual para passar pelo despolpador. Todo e qualquer equipamento e utensílio utilizado na manipulação de alimentos deve obrigatoriamente estar sanitizado, assim como ser feito de aço inoxidável ou outro material sanitário. É durante o descascamento que caroços e sementes são retirados (Silva, 1997; Torrezan, 2015).

Durante o despolpamento, as frutas passam pelos despolpadores, nesses equipamentos há peneiras de diferentes tamanhos por onde as frutas inteiras ou em pedaços passam antes de seguir para a etapa de cocção (Lovatto, 2016).

Assim como os demais ingredientes utilizados na elaboração do doce, o açúcar necessita de uma etapa a fim de prepará-lo para ser adicionado na formulação, dessa forma, o ideal é que o açúcar recebido seja peneirado, evitando que materiais estranhos sejam introduzidos na formulação. No Brasil, o açúcar comumente utilizado na fabricação de doces em massa é a sacarose obtida a partir da cana-de-açúcar (Torrezan, 2015).

Em meio ácido, a sacarose é hidrolisada, ou seja, é quebrada em duas moléculas: glicose e frutose. Objetivando evitar a cristalização, é necessário utilizar glicose ou açúcar invertido (mistura de glicose, frutose e sacarose) para a produção de doce em massa. Para que ocorra

a formação do gel, a presença da pectina é fundamental, devido à variação na concentração de pectina presente nas frutas, pode ser adicionada pectina à formulação (Carretta, 2006).

Para a obtenção do doce é necessário realizar a concentração. Essa etapa do processamento de doces em massa pode ser realizada por dois métodos usuais: concentração sob pressão atmosférica e concentração a vácuo. O tempo de concentração depende do método utilizado, do volume do tacho, da condutividade térmica do aparelho e do produto, da temperatura da superfície de aquecimento e da diferença de Brix da formulação no início e no final da cocção (Silva, 1997; Torrezan, 2015). Períodos longos de concentração favorecem a caramelização, o que é indesejável para o produto, pois escurecem o produto final, demanda gastos e energia desnecessários e ainda degrada a pectina (Torrezan, 2015).

O produto é concentrado até atingir a quantidade de sólidos solúveis necessário para garantir a sua conservação, considerando o método de barreira que será utilizado (Gava, Silveira & Frias, 2009). Para determinação do ponto final de concentração, é utilizado o refratômetro. Os produtos embalados em latas ou em vidro devem ser concentrados até atingir o teor de sólidos solúveis final de 72 °Brix; o produto acondicionado em embalagens plásticas deve ser concentrado igual ou superior a 74 °Brix (Lovatto, 2016).

O produto acondicionado em latas ou em vidro é envasado a quente; já quando é embalado em embalagens plásticas é imprescindível que ocorra a gelatinização em formas de aço inox e somente quando estiverem resfriados são cortados e embalados. É nessa etapa que o produto final recebe os rótulos e segue para o armazenamento (Silva, 1997; Torrezan, 2015).

O produto final deve ser armazenado em um local que atenda certas especificações, tais como ser limpo, arejado, com ausência de luz, estar à temperatura ambiente e livre de insetos e roedores (Lovatto, 2016).

2.9 Compota

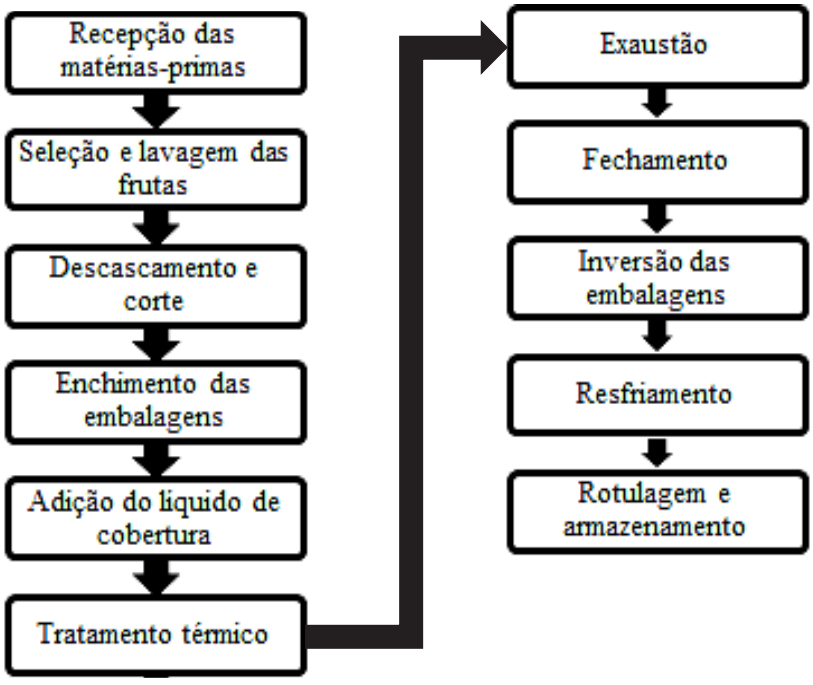
Conforme estabelecido pela Legislação Brasileira (Resolução da Diretoria Colegiada n° 272, 2005), compotas de fruta podem ser compreendidos como o produto obtido por meio de frutas inteiras ou em pedaços, com ou sem sementes ou caroços, com ou sem casca, obtidos por cocção e ou concentração e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos. Estes podem ser elaborados com ou sem líquido de cobertura e adicionados de açúcar, sal, tempero, especiarias e ou outro ingrediente contanto que não descaracterize o produto. O produto deve ser denominado de forma associada ao uso, seguida do nome do ingrediente que o caracteriza. A designação pode, ainda, ser seguida de expressões relativas ao processo de obtenção e ou forma de apresentação e ou característica específica.

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada nº 352 (2002), que dispõe sobre Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores Industrializadores de Frutas e ou Hortaliças em Conserva, estabelece-se que:

> "2.2 Fruta em Conserva: é o produto preparado com frutas frescas, congeladas ou previamente conservadas, inteiras ou em pedaços ou em forma de polpa, envasadas praticamente cruas ou pré-cozidas, imersas ou não em líquido de cobertura adequado, podendo conter opcionalmente outros ingredientes comestíveis e, finalmente, submetidas a adequado tratamento antes ou depois de fechadas hermeticamente nos recipientes para isso destinados, a fim de assegurar sua conservação."

A conservação das frutas na forma de compota está relacionada ao uso do calor e a adição de açúcar que proporciona o aumento do seu teor de sólidos solúveis e, consequentemente, reduz a atividade de água do produto. Além disso, em alguns casos são utilizados acidulantes que viabilizam a redução do pH, impedindo ainda mais o crescimento microbiano e favorecendo a obtenção de um produto que não dependa da cadeia de frio para o seu transporte e armazenamento (Matta, Candéa, Monteiro, Freitas e Penteado, 2010). O fluxograma geral de produção de compota está representado na Figura 16.

Figura 16: Fluxograma de produção de compota



Fonte: Adaptado de Oliveira (2015)

Devido às compotas serem produtos constituídos de frutas inteiras ou em pedaços, torna-se possível a preservação em níveis elevados das suas características sensoriais e do valor nutritivo (BRASIL, 2006). No caso das frutas inteiras, esse aproveitamento integral e algumas vezes de partes que seriam descartadas contribuem para a redução de custos, amenização das perdas, valor nutricional e qualidade sensorial (Almeida, 2013). Além disso, algumas frutas possuem maior quantidade de vitaminas e minerais na sua casca do que na polpa (Lima, 2010).

No entanto, com o aumento de problemas de saúde relacionado com a alimentação, obesidade e a diabetes, foi ampliada a busca por formulações de baixo valor calórico, buscando a redução, isenção ou substituição total ou parcial da sacarose por outras fontes adoçantes (Leite, Moura, Alixandre, Pereira & Farias, 2016).

Mendonça, Zambiazi, Gularte e Granada (2005) estudaram a elaboração de compotas de pêssego *light* elaboradas com sucralose e acessulfame-K e avaliaram a sua aceitação sensorial. Puderam concluir que as compotas apresentaram boa estabilidade durante o armazenamento e ambas obtiveram aceitabilidade por parte dos provadores, evidenciando uma maior aceitação pela compota elaborada com sucralose.

Em estudo sensorial de aceitação de compota de abacaxi "pérola" adoçado com diferentes tipos de edulcorantes, sendo estes a sucralose, a estévia e o acessulfame-K, pode-se verificar que a sucralose e a estévia seriam os melhores edulcorantes para este tipo de compota, ao passo que os provadores relataram que o uso do acessulfame-K fornece uma doçura muito inferior ao esperado como ideal (Santana, Perfeito & Lima, 2019).

Silva *et al.* (2012) realizaram estudo a fim de verificar a aceitação sensorial de compotas convencionais e dietéticas de laranja e goiaba. Foi observado que houve boa aceitação das compotas de goiaba, não havendo diferenças significativas entre as amostras convencionais e dietéticas. Já para as compotas de laranja, apenas a do tipo convencional apresentou uma boa aceitação.

A elaboração de compotas é uma forma de minimizar perdas pós-colheitas e agregar valor ao produto, além de poder fornecer produto com qualidade nutricional e sensorial. No entanto, no cenário global, são necessários estudos para que possa ampliar a oferta de produtos isentos ou com substituição parcial do açúcar com elevadas características sensoriais para atender essa demanda que tende a aumentar crescentemente.

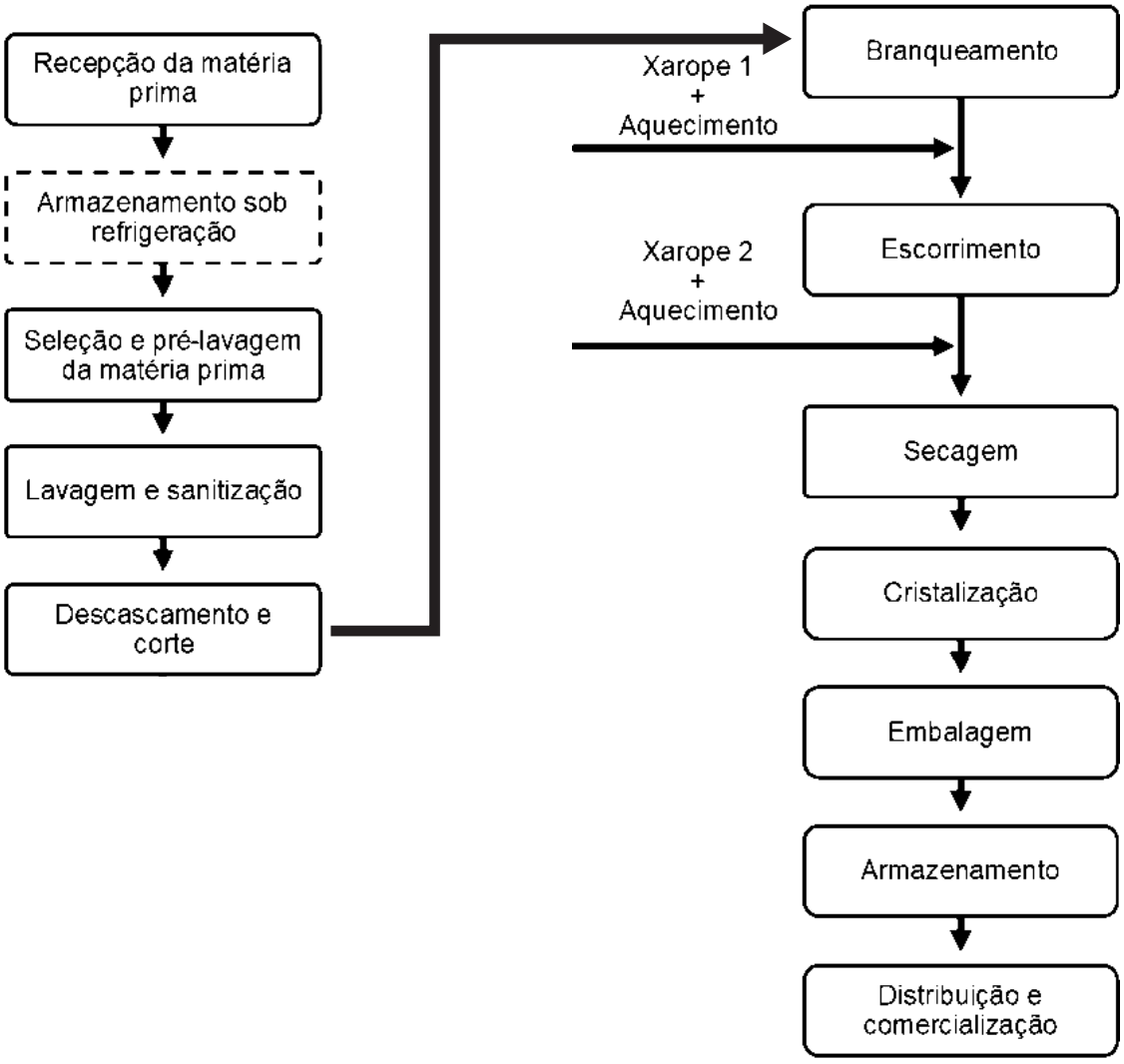
2.10 Doce cristalizado

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada nº 259 (2002), produtos podem ser denominados "frutas cristalizadas" quando são elaborados a partir de qualquer tipo de fruta, sem exceder 30% do peso do alimento. O uso dos aditivos por tipo e quantidades está disposto

na Resolução da Diretoria Colegiada nº 8 (2013). As frutas glaceadas têm uma camada de sacarose lisa recobrindo a superfície, já as frutas cristalizadas apresentam a sacarose em forma de cristais em suas superfícies (Bauer, Wally & Peter, 2014), sendo comum às duas opções a aplicação do processo de desidratação osmótica (Oliveira, Feitosa & Souza, 2018).

De acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada nº 15 (1977), estes produtos devem apresentar um limite de 25% de umidade e também podem ser comercializados com denominação de simples quando apresentar apenas uma espécie de vegetais, ou misto quando há mescla de espécies, nesse segundo caso deve haver o mínimo de 20% do constituinte de menor quantidade (Oliveira, Feitosa & Souza, 2018). Na Figura 17 está o fluxograma de produção de frutas cristalizadas.

Figura 17 – Fluxograma de produção de frutas cristalizadas



Fonte: Adaptado de Matos & CDT/UnB, (2007); A Feira (s. f.); Souza & Bragança, (s. f.)

Para o desenvolvimento de frutas cristalizadas ou glaceadas é importante definir a fruta e a parte que será aplicada, levando para a higienização e preparando a matéria prima. A etapa de branqueamento irá promover a cocção e assegurar a qualidade microbiológica. Para frutos como o figo e a ameixa são aplicados processos de pré-cocção, enquanto no caso da abóbora, a mesma passa pelo banho de cal, com o intuito de assegurar a textura do produto final. Em muitos casos o processamento é a imersão da matéria prima com dois processos de submersão em xarope de açúcar, com proporções específicas para cada matéria prima. Nessa etapa ocorre a saturação do produto, ou seja, a troca do suco do fruto pelo xarope e garantindo então a excelência da etapa. Depois da retirada dos frutos ou produtos da calda, os mesmos seguem para a etapa de secagem e em alguns são envolvidos por açúcar refinado e já estão prontos para embalagem, armazenamento, comercialização (Souza & Bragança, s. f.).

A etapa de saturação pode acontecer de forma lenta, onde os produtos são submergidos e permanecem por algum tempo, para que, por pressão osmótica ocorra a troca do xarope pelo suco de fruta. Porém algumas literaturas demonstram que o aquecimento promove o aceleramento dessa etapa (Matos & CDT/UnB, 2007; Serviço Nacional de Aprendizagem Rural [SENAR], 2017).

As frutas cristalizadas trazem vantagens econômicas por possibilitarem a redução de perdas de frutas e hortaliças in natura, além de oferecerem as facilidades de conservação e transporte. Estes alimentos são bastante apreciados e produzidos de forma tanto artesanal quanto industrial, sendo comercializados em lanchonetes, restaurantes e padarias (Centro de Produções Técnicas e Editora Ltda, 2010). No Quadro 10 estão exemplos de empresas produtoras de doces cristalizados e glaceados.

Quadro 10 – Exemplos de marcas e correspondentes produtos cristalizados e glaceados.

Marcas	Produtos
Helomar	- Cristalizados: Figo, laranja, mamão, frutas mistas (cubos), abacaxi, cidra; - Glaceados: abacaxi, cidra, figo, laranja, mamão.
Mazé Doces	- Abacaxi, figo com nozes, figo, figo com doce de leite, laranja da terra, mamão, abóbora, casquinha de laranja, casquinha de limão, gengibre, talo de abacaxi; - Cristalizados inteiros: abacaxi,abóbora.
Viva Salut	Mamão verde, mamão vermelho e laranja.

Fonte: Helomar (s. f.), Mazé Doces (s. f.); Viva Salute Alimentação Saudável Ltda (s. f.).

Pesquisadores estão em constante busca por soluções tecnológicas, como exemplo o estudo de Sukeaw Samakradhamrongthai & Jannu, (2021). Os pesquisadores identificaram o risco para grupos de pessoas pela grande concentração de açúcar nos produtos cristalizados, então avaliaram a redução do açúcar com a adição de estévia, xilitol e xarope de milho para a elaboração de doces comestíveis de ameixa-do-tamarindo (*Dialium indum L.*). Como conclusão o trabalho trouxe as informações de que a estévia e xilitol podem trazer novas alternativas para o desenvolvimento deste doces com propriedades atrativas e boa aceitabilidade do produto, conseguindo reduzir em 60% a quantidade de sacarose utilizada na formulação.

3. Tendências e inovações no setor

3.1 Interferências da ocorrência da pandemia da COVID-19

Em dezembro do ano de 2019 foi notificado à Organização Mundial de Saúde o surto de coronavírus (SARS-CoV-2), causador da COVID-19, na China e em janeiro de 2020 instaurou-se a pandemia da doença (Freitas, Napimoga & Donalisio, 2020). O vírus causa uma doença altamente transmissível que atinge o sistema respiratório, requisitando uma série de cuidados para evitar a transmissão, como o distanciamento entre as pessoas, o uso de máscaras, higienização das mãos e vacinação (Organização Mundial de Saúde, 2020).

A ocorrência da pandemia da COVID-19 interferiu no comportamento de consumo de frutas e hortaliças *in natura* tanto pelos consumidores finais quanto pelos estabelecimentos de alimentação no Brasil. Segundo Nascimento (2021) alguns fatos que diminuíram o comércio destes itens foram:

- Diminuição do poder aquisitivo dos consumidores;
- Redução / paralisação de compra de frutas e hortaliças pelos programas do governo como o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) e o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA);
- Suspensão temporária das feiras livres, bares e restaurantes.

Em contrapartida, comportamentos foram identificados como o aumento do interesse por produtos orgânicos, organização de vendas por canais virtuais e interesse na origem das frutas e hortaliças. Nos Quadros 11 e 12 estão exemplos de tendências advindas da situação de pandemia da COVID-19 no consumo de frutas e hortaliças.

Quadro 11 – Exemplos de canais virtuais de vendas de produtos à base de frutas e hortaliças.

Canais virtuais	Descrição
Grandes redes como Pão de Açúcar e Extra	Exemplos: geleias, frutas secas, sorvetes, frutas *in natura*, sucos. Os alimentos perecíveis são entregues somente nas cidades onde se localizam as lojas físicas, outros produtos em âmbito nacional.
Supermercado *online* da Amazon	Exemplos: geleias, frutas secas, sucos, barras de frutas. Entrega em âmbito nacional, não entregam perecíveis.
Armazém *Online*	Site utilizado por supermercados e mercados locais para a venda virtual e entregas locais. Entrega de produtos perecíveis como frutas *in natura* e outros.

Fontes: Armazém Online (s. f.), Amazon (s. f.); Extra (s.f.); Pão de Açúcar (s. f.).

Quadro 12 – Exemplos de produtos orgânicos à base de frutas e hortaliças.

Marcas	Exemplos de produtos orgânicos
Mãe Terra	Farinha de coco, Nuchips de maçã integral.
biO_2	Barras de frutas (banana com nibs de cacau e banana com abacaxi), sucos (tangerina; misto de banana, maçã, laranja e quinoa; misto de laranja, cenoura, maçã, beterraba e acerola).
Poder da Terra	Limonada (tradicional com hortelã, com framboesa, com gengibre, com pêssego) e chá mate (tradicional, com limão, sabor pêssego)

Fontes: biO2 (s. f.), Mãe Terra (s. f.); Poder da Terra (s. f.).

3.2 Redução de sódio, açúcares e gorduras

As tendências do mercado e de legislações em alimentos têm rotas que visam à redução de sódio, açúcares, gorduras e compostos sintéticos. Neste sentido, os produtos de origem vegetal em geral possuem versatilidade para a busca de novos produtos para suprir estas demandas pelas suas características nutricionais e tecnológicas.

O açúcar adicionado aos produtos à base de vegetais tem a função de aportar sabor, consistência, brilho, além de aumentar a vida de prateleira dos produtos. Para a sua substituição são aplicados edulcorantes especificamente na função de sabor e a cada tecnologia é aplicado algum aditivo ou ingrediente para suprir as outras funções deste composto. Os edulcorantes têm natureza sintética ou natural, diferenciando pelo fato de que os sintéticos apresentam notas amargas ou características que podem trazer rejeição dos consumidores, enquanto os substitutos naturais podem se apresentar com maior aporte calórico. Outra opção é a aplicação de proteínas doces e edulcorantes de alta potência derivados de plantas (Mora & Dando, 2021).

O consumo de cloreto de sódio em alimentos vegetais deve-se ao potencial de conservação ao interferir na pressão osmótica, além de conferir sabor em alimentos como legumes desidratados salgados, temperos à base de vegetais e conservas. Por outro lado, a presença do sódio apresenta como um dos principais causadores da hipertensão arterial sistêmica (Nascimento, Gavron, Bowles, Chaves & Bortolozo, 2017; OPAS - Organização Pan-Americana de Saúde, 2021). O desafio da redução de sódio em alimentos de uma forma geral está atrelado à aplicação de cloreto de potássio, além de hidrolisado de levedura e outros aditivos e ingredientes. Uma opção relevante é o uso de ervas e especiarias que, a partir do aporte sensorial, permite a redução da aplicação de cloreto de sódio de uma forma natural (Editora Insumos, 2013).

Em 2021, a *World Health Organization* analisou e indicou os limites de sódio estipulados por países estabelecendo as referências de acordo com as categorias de produtos, incentivando que os países e indústrias reduzam a ingestão de sal/sódio da população em 30% até 2025 (OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde, 2021). Nessa lista os vegetais frescos não apresentaram padrão referencial, porém foi diferente para: saladas preparadas congeladas e refrigeradas (390mg/100g); legumes e vegetais enlatados (50mg/100g); legumes em conserva ácidos estáveis na prateleira (550mg/100g); sucos ou coquetéis vegetais (200mg/100g); legumes e vegetais congelados (180mg/g); tortas, salgadinhos de frutas, bolos, tortas com frutas ou outros recheios, massa dinamarquesa, rolos de canela e massa para pastel (120mg/100g).

O consumo de gorduras também tem recebido atenção por estar intimamente associada com problemas cardiovasculares, o que levou Izar *et al.* (2021) emitirem um posicionamento sobre o consumo de gordura, de acordo com o perfil dos ácidos graxos, levando em consideração as últimas evidências sobre o assunto. Os médicos consideraram que o excesso de gorduras saturadas e consumo inadequado de poli-insaturados se mostra como um problema epidemiológico, bem como a substituição de gorduras saturadas por carboidratos refinados pode aumentar os riscos de doenças cardiovasculares.

3.3 Redução do desperdício

Roig Vila (2020) relata sobre a perspectiva de um futuro com escassez de alimentos e sobre a necessidade da manutenção de dieta sustentável, que unem as demandas mundiais de preocupações com o meio ambiente e saúde dos consumidores. Para contingenciar este cenário, fatores que levam em consideração o desperdício em toda a cadeia de alimentos, pontuando também o incentivo à redução do consumo de carnes e aumento do consumo de produtos vegetais, foram iniciados e reforçados conceitos como *plant-based* ou *plant-forward*, ou seja, alimentação à base de vegetais e veganismo.

Os coprodutos da indústria de alimentos muitas vezes são destinados à alimentação animal por apresentarem grande potencial nutricional e baixo custo (Rosa, et al., 2019), destinados também à geração de energia, como no caso de bagaços da cana (UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2020). Mas muitos coprodutos têm sido pesquisados e analisados quanto à presença de compostos bioativos ou matéria-prima para aplicação em biotecnologia (Corrêa et al., 2020; Lafarga *et al.*, 2018; Martín-Sánchez *et al.*, 2014; Serena & Knudsen, 2007). Essa prática vem de encontro à redução do desperdício de matéria prima.

3.4 Rótulos “verdes” e “limpos”

A leitura de rótulos dos alimentos pelos consumidores está cada vez mais comum, trazendo maior conscientização e também maior exigência sobre a qualidade dos produtos. Desta forma, algumas tendências vêm se fortalecendo como os rótulos “verdes” e “limpos”.

Os rótulos verdes, ou rotulagem ambiental, são utilizados de forma a disponibilizar informações para que os consumidores possam escolher produtos de menor impacto ambiental quando comparados com os produtos disponíveis no mercado. Com isso, pretende-se difundir informações que venham a interferir de forma positiva nos padrões tanto de produção como de consumo, fazendo com que passem a utilizar com maior responsabilidade os recursos naturais (Moura, 2013). A Agenda 21 recomenda que seja considerado o ciclo de vida do produto nas diretrizes de rotulagem e que tais informações devam ser apresentadas de forma clara para facilitar a escolha do consumidor.

Outra tendência em relação à rotulagem dos alimentos é a substituição de ingredientes e aditivos artificiais, principalmente em alimentos para o público infantil. A formulação ou reformulação de produtos desta forma resultam em rotulagem limpa, ou *clean label*, trazendo além da naturalidade dos componentes também uma lista de ingredientes menor e mais simples. Outros aspectos considerados são a menor quantidade ou ausência de açúcares, glúten, lactose, alergênicos e organismos geneticamente modificados (Kawazoe, 2016).

Os aditivos e ingredientes de fonte vegetal são opções viáveis para o atendimento dos rótulos “verdes” e “limpos”. Exemplos desta aplicação são proteínas de fonte vegetal; vegetais nas formas desidratada / purê / concentrados / sucos; corantes / edulcorantes / aromas naturais extraídos de vegetais; uso de vegetais orgânicos entre outros. As aplicações podem trazer maior funcionalidade tecnológica com menos ingredientes, substituir ingredientes alergênicos, além de agregar valor aos produtos (Ingredion, s. f.).

3.5 Impressão 3D de alimentos

Além da preocupação com aspectos de formulação em relação à qualidade nutricional, tecnologias estão em desenvolvimento para oferecer alimentos de qualidade. O uso da impressão 3D apresenta grande potencial, permitindo a criação de dispositivos e materiais com estruturas mais complexas, que seriam inviáveis à sua produção pelas técnicas tradicionais. Essa modalidade está em constante aprimoramento a fim de ofertar opções de utilização desde as mais simples até as complexas com custo e tempo de preparo inferior aos atuais (Kalsoom, Nesterenko & Paull, 2018; Zucca, Santos, Lovatto, Lovatto & Sanches, 2018). Além disso, possibilita o uso de recursos naturais de maneira inteligente resultando em aumento de produtividade e uma produção sustentável (Brasil, 2012). Essa tecnologia

possibilita uma flexibilidade dos atributos permitindo a obtenção de produtos mais palatáveis de acordo com a necessidade do usuário apresentando uma vasta opção de formas do produto atendendo às rápidas mudanças no mercado consumidor (Leandro & Pessoa, 2016).

A aplicação no setor alimentício se iniciou de modo exclusivo na fabricação de doces e talheres em formatos exclusivos e, posteriormente, foram produzidos alimentos de baixa complexidade como pizza e brigadeiros (Magalhães & Nasajon, 2016; Santos, 2016). É uma área crescente nos últimos anos, sendo caracterizada como uma das principais tecnologias emergentes, fazendo com que surja a necessidade de pesquisas para expandir os conhecimentos e desenvolver processos para impressão de alimentos de maior complexidade (Zucca 2018; Santos, 2016).

Segundo Dabague (2014), o ápice das impressoras para alimentos se deu pelo fato das máquinas reproduzirem com exatidão as receitas e a Agência Aeroespacial Nacional Americana (NASA) informar que seria enviado equipamentos de impressão 3D ao espaço para que imprimissem os alimentos. Segundo Carneiro (2021) as impressoras 3D estão sendo aprimoradas para usos dentro da área de alimentos. Ferramentas específicas para estes equipamentos estão em desenvolvimento para a produção de alimentos funcionais à base de frutas.

A aplicação de impressão 3D em vegetais pode ser realizada de diferentes formas, desde a impressão de vegetais inteiros para pessoas com disfagia até em produtos para substituição de carnes. Segundo Lusa (2021) a aplicação de vegetais liofilizados ou desidratados em alimentos impressos com a tecnologia 3D traz sabor e textura mais agradáveis para as pessoas em tratamento com alguma disfunção de disfagia quando comparados com os produzidos com aditivos artificiais como aromas e corantes. Kim *et al.* (2018) estudaram a capacidade de impressão de brócolis, espinafre e cenoura desidratados dispersos em diferentes hidrocoloides para aplicação como tintas em impressoras 3D de alimentos, resultando em aplicações viáveis tecnologicamente. Na indústria, a aplicação de impressão 3D em alimentos já é realidade e alguns exemplos de empresas que produzem substitutos de carne à base de plantas são a Impossible Foods, Beyond Meat e a startup Nova Meat (Shanker, 2021; Novameat s. f.)

4. Conclusão e perspectivas futuras

O setor de fruticultura e olericultura, consequentemente as agroindústrias envolvidas, tem grande importância econômica no Brasil tanto pelo volume produzido quanto pela variedade de cultivares presentes. Para o melhor uso das frutas e hortaliças, tecnologias são aplicadas com o intuito de aumento de valor agregado, extensão da vida-de-prateleira, diminuição dos efeitos da sazonalidade, entre outros.

A perecibilidade da maioria dos vegetais vem das suas características fisiológicas e a literatura traz direcionamentos para a aplicação das melhores técnicas de conservação desde o alimento in natura até sua versão processada. A aplicação de boas práticas de manipulação e o entendimento dos parâmetros de processo em tecnologias como a desidratação, resfriamento e produção de geleias e compotas são essenciais para a correta destinação dos vegetais.

As tecnologias citadas são baseadas no uso de recursos de conservação de alimentos como a redução de atividade de água, alteração do pH, uso de embalagens pertinentes, entre muitos artifícios disponíveis. Para a padronização dos produtos, legislações brasileiras estão disponíveis e devem ser cumpridas para cada tipo de alimento à base de frutas e hortaliças, garantindo desta forma a qualidade, característica e segurança alimentar. Neste cenário, a contribuição científica dá aporte técnico para as tomadas de decisão das agroindústrias para produção de alimentos agradáveis sensorialmente, seguros e que atendam à legislação.

Com a incidência da pandemia da COVID-19, o comportamento dos consumidores mudou e as empresas estão acompanhando as novas exigências. Diferentes tecnologias estão em constante desenvolvimento e aplicação na área de alimentos como a impressão 3D, alternativas para a produção de alimentos mais saudáveis, soluções para a redução do desperdício de frutas e hortaliças, além da conscientização ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A Feira. (s. f.). Fluxograma. UFRGS. [Online] Recuperado 12 de julho de 2021, de http://www.ufrgs.br/afeira/produtos/frutas/doce-de-laranja-cristalizada/fluxograma

ABIS. (2021, 1 junho). ABIS - Mercado. Recuperado de https://abis.com.br/mercado/

Açúcar Alegre. (s. f.). Produtos. Recuperado 7 de julho de 2021, de https://www.acucaralegre.com.br/produtos/

Açúcar Caravelas. (s. f.-a). Açúcar Caravelas. Recuperado 7 de julho de 2021, de https://www.acucarcaravelas.com.br/

Açúcar da Barra. (s. f.). Açúcar da Barra. Recuperado 7 de julho de 2021, de https://acucardabarra.com.br/

Aditivos & Ingredientes. (2016). Vegetais desidratados. 48-52. Recuperado 15 de julho de 2021, de http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/104.pdf

Agro2.0. (2020) Frutas desidratadas são saudáveis e ajudam a movimentar a economia [Artigo Jornalístico]. Recuperado em 15 mai 2021, de https://agro20.com.br/frutas-desidratadas/

Alcarde, A. R. (s. f.). Agência Embrapa de Informação Tecnológica - Processamento da cana-de-açúcar. Agencia Embrapa. Recuperado 6 de julho de 2021, de https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html

AlfaCitrus. (s. f.). Nossas Frutas. Recuperado 16 de julho 2021, de https://www.alfacitrus.com.br/nossas-frutas/

Almeida, A. G. D. (2013). Hortaliças minimamente processadas: percepção dos consumidores sobre os atributos de qualidade e evolução do mercado.

Amazon Supermercado Online (s.f.). Amazon Supermercado Online. Recuperado 12 setembro 2021, de https://www.amazon.com.br/s/browse/?ie=UTF8&node=21226688011&tag=hydrbrgk-20&ref=pd_sl_1bjzajsj6t_e

Andrade, L. D. A., Medeiros, S. D. S. D., & Borges, M. T. M. R. (2018). Avaliação das características físico-químicas do açúcar mascavo adicionado de açúcar bruto de alta polarização. Brazilian Journal of Food Technology, 21(0). https://doi.org/10.1590/1981-6723.19917

Armazém Online (s.f.). Armazém Online. Recuperado 12 setembro 2021, de https://armazemonlinenaweb.com.br/

Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (2020). Dados de exportação 2020. Recuperado em 02 julho 2021, de https://abrafrutas.org/2021/02/dados-de-exportacao-2020/

Azeredo, H. M. C. de (2004). Fundamentos de estabilidade de alimentos (2ª. ed.). Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

Barboza, E. M. F. (2001). Rótulos ambientais e análise do ciclo de vida. Brasília: IBICT, nov.

Basílio, E. P., Charbel, A. L. T., & Ferreira, A. G. (2016). Avaliação da secagem de morangos em estufa e em secador híbrido solar-elétrico. Revista Acadêmica Conecta FASF, 1(1).

Bauer, V. R. P., Wally, A. P., & Peter, M. Z. (2014). Tecnologia de frutas e hortaliças. e –Tec Brasil. Recuperado em 30 junho 2021, de http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1480/Tec_Frut_Horta_Book_Ag.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Belik, W. (2020, outubro). Estudo sobre a Cadeia de Alimentos. Ibirapitanga. https://terramadrebrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/11/EstudoCadeiaAlimentos_%C6%92_13.10.2020.pdf. Instituto Clima e Sociedade; Imaflora.

Benassi SP. (s. f.). PRODUTOS | Benassi SP. Recuperado 16 de julho 2021, de https://www.benassisp.com.br/produtos/

biO2. (s. f.). Loja biO2. Recuperado 13 de setembro 2021, de https://www.lojabio2.com.br/

Borges, J.T.S., Oliveira, A.G., Carvalho, J.B., Nunes, L.R., Barcelos, M.C.S., Carvalho, S.G.A., Paula, C.D., Moraes, D.S.A.B. (2020). Avaliação física e sensorial de chips desidratados de maçã sabor natural e canela. Braz. J. of Develop. 6(9). DOI:10.34117/bjdv6n9-188.

Bonduelle. (2021). Legumes Bonduelle - Vegetais in natura. Recuperado em 10 julho 2021, de https://bonduelle.com.br/produtos

Botondi, R., Barone, M., & Grasso, C. (2021). A Review into the Effectiveness of Ozone Technology for Improving the Safety and Preserving the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. Foods, 10(4), 748. https://doi.org/10.3390/foods10040748

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2012. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. Brasília: MAPA/ACS., 173 p.

Brasil Frutt. (s. f.). Brasil Frutt. Recuperado em 10 de julho 2021, de http://www.brasilfrutt.com.br/produtos

Bron, I. U., & Jacomino, A. P. (2007) Classificação de frutos por "climatério" é conceito em extinção? Visão agrícola, nº7, jan/ jun.

Caetano, K. S.; Leão, M. F.; Gonçalves, S, C. R.; Parizotto, D.; Rocha, D. (2013) Desenvolvimento e controle de qualidade de picles não fermentado de abobrinha italiana. Enciclopédia Biosfera, v. 9, n. 16.

Caetano, P. K. (2016). Desenvolvimento e aceitabilidade de compota de figo convencional e diet. (Tese de doutorado). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, Brasil.

Caetano, P. K.; Mendonça, V. Z.; Daiuto, E. R.; Vieites, R. L. (2015) Preferência sensorial de compota e doce em calda de figo em função do modo de preparo. Nativa, 3 (3) 191-195.

CAISP. (s. f.). Simplifique Saladas. CAISP - Simplifique Saladas. Recuperado 9 de junho 2021, de http://simplifiquesaladas.com.br/#produtos

Caldeiras, C. (2018). UE reforça restrições ao Bisfenol A em materiais para contacto com os alimentos. AGRICULTURA E MAR ACTUAL. Recuperado em 04 abril 2021, de https://agriculturaemar.com/ue-reforca-restricoes-ao-bisfenol-materiais-contacto-os-alimentos/

Camargo, G. A., Haj-isa, N., Queiroz, M. R. (2007) Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11, 521–526.

Cambaúva, G. F. (2020, outubro). Uma revisão sobre os atributos de escoabilidade de diferentes variedades de açúcar. (Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil) Recuperado em 12 junho, 2021, de https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13393/598194_TG_FinalReview.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Campos, L. M. (2021). Construindo indulgência, principal motor de consumo em sorvetes. Recuperado em 05 fevereiro 2021, de Alibra. https://alibra.com.br/informes-tecnicos-e-comerciais/construindo-indulgencia-principal-motor-de-consumo-em-sorvetes/

Carretta, D. B. (2006). Açúcar: seus efeitos sobre a sociedade sacarose dependente. (Monografia, Universidade de Brasília, Faculdade de Ciências da Saúde, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil). Recuperado em 18 julho, 2021, de https://docplayer.com.br/8265122-Acucar-seus-efeitos-sobre-a-sociedade-sacarose-dependente.html

Carneiro, B. (2021) O uso de uma impressora 3D na produção de alimentos. Recuperado 10 setembro 2021, de https://gepea.com.br/impressora-3d/

Carvalho, J. D. S.; Gouvêa, F. S.; Ferreira, E. H. R.; Barbosa, M. I. M. J.; Barbosa JR., J. L. (2014). Caracterização química, qualidade microbiológica e aspectos nutricionais de picles elaborados com pepino (Cucumis sativus L.) e com nabo (Brassica campestris L. var. rapa) orgânicos produzidos por agricultores familiares. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 9(1), 31.

Casa dos Cereais. (s. f.). Casa dos cereais – A Loja mais Completa de Produtos Naturais. Recuperado 10 de julho de 2021, de https://www.casadoscereais.com.br/

Casa Madeira. (2021). Geleia Gourmet Cabernet Sauvignon. Recuperado em 10 maio 2021, de http://casamadeira.com.br/produto/geleia-gourmet-cabernet-sauvignon/

Casa Santa Luzia. (s. f.). Casa Santa Luzia | Supermercado Empório de SP. Recuperado 10 de julho de 2021, de https://www.santaluzia.com.br/

Cavalcante, L. (2021). Recheios indulgentes impulsionam o mercado de sorvetes. Alibra. Recuperado em 3 fevereiro, 2021, em: https://alibra.com.br/informes-tecnicos-e-comerciais/recheios-indulgentes-impulsionam-o-mercado-de-sorvetes/

Caxifruti. (2021). Polpa de Frutas, Sobremesas e Frutas Congeladas. Disponível em 20 junho 2021, em http://www.caxifruti.com.br/

Celestino, S. M. C. (2009). Desidratação osmótica na produção de frutas passa e sulfitação. Embrapa Cerrados.

Celestino, S. M. C. (2010). Princípios de secagem de alimentos. Planaltina. Embrapa Cerrados.

Centro de Produções Técnicas e Editora Ltda. (2010). Frutas cristalizadas, tradição caseira com reconhecimento no mercado de alimentos. CPT. Recuperado em 01 julho 2021, de https://www.cpt.com.br/artigos/frutas-cristalizadas-tradicao-caseira-reconhecimento-mercado-alimentos

Chá Leão. (s. f.). Alimentos e bebidas. Recuperado 25 de junlo de 2021, de https://www.chaleao.com.br/lista/alimentos-bebidas/

Chácara Strapasson. (s. f.). Arquivos Produtos em Oferta. Recuperado 16 de julho 2021, de https://chacarastrapasson.com.br/categoria-produto/produtos-em-oferta/

Chandra, A., Kumar, S., Tarafdar, A., & Nema, P. K. (2021). Ultrasonic and osmotic pretreatments followed by convective and vacuum drying of papaya slices. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(6), 2264-2272.

Chappalwar, A. M., Pathak, V., Goswami, M., & Verma, A. K. (2020). Development of functional chicken patties with incorporation of mango peel powder as fat replacer. Nutrition & Food Science.

Chaux-Gutiérrez, A. M., Pérez-Monterroza, E. J., Telis, V. R. N., & Mauro, M. A. (2017). The physical and morphological characteristics of mango powder (Mangifera indica L. cv Tommy Atkins) produced by foam mat drying. Food biophysics, 12(1), 69-77.

Chitarra, M. I. F. & Chitarra, A. B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças. 2ª. Ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p

Cipria. (s. f.). Cipria - ervas & esperciarias. Cipria. Recuperado 11 de julho de 2021, de https://cipria.com.br/

Companhia Nacional de Abastecimento. (2021a). Comercialização total de frutas e hortaliças. Recuperado em 01 junho, 2021, de https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/36351_6785b4d52451beb4242b0eca55435e46

Companhia Nacional de Abastecimento. (2021b). Tabelas de dados - Produção e análise de mercado de cana-de-açúcar. Recuperado em 10 junho, 2021, de https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar

Conservas Almeida. (2021). Conservas Almeida | Produtos de qualidade, direto para a sua mesa. Produtos em Conserva. Recuperado em 12 julho 2021, de https://conservasalmeida.com.br/

Corato, U. (2019). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(6), 940–975. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025

Corrêa, C. L. O., Penha, E. M., Freitas-Silva, O., Luna, A. S., & Gottschalk, L. M. F. (2020). Enzymatic Technology Application on Coffee Co-products: A Review. Waste and Biomass Valorization, 12(7), 3521–3540. https://doi.org/10.1007/s12649-020-01208-w

Corrêa, P. C., Resende, O., Martinazzo, A. P., Goneli, A. L., & Botelho, F. M. (2007). Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (Phaseolus vulgaris L.) em camadas delgadas. Engenharia Agrícola, 27(2), 501-510.

Costa, J.D.S., Neto, A.F., Almeida, F.A.C., Costa, M.S. (2018). Conservation of 'Tommy Atkins' Mangoes Stored Under Passive Modified Atmosphere. Rev. Caatinga 31 (01). Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n114rc.

Dabague, L. A. M. 2014. O processo de inovação no segmento de impressoras 3D. Monografia, Universidade Federal do Paraná – UFP, Curitiba, Paraná, 51 p.

Daucy. (2021). Produtos - Daucy do Brasil. Recuperado em 01 julho 2021, em http://www.daucy.com.br/produtos/index.php

Demarchi - Indústria e distribuidora de polpa de frutas e legumes congelados. (2021). Linha industrial. Demarchi. https://www.demarchi.com.br/industrial

Destro, T. M., Prates, D. D. F., Watanabe, L. S., Garcia, S., Biz, G., & Spinosa, W. A. (2019). Organic brown sugar and jaboticaba pulp influence on water kefir fermentation. Ciência e Agrotecnologia, 43. Recuperado em 12 junho, 2021, de https://doi.org/10.1590/1413-7054201943005619

Durigan, J. F. (2013). Pós-colheita de frutas. Revista Brasileira de Fruticultura, 35(2), 0-0.

Dutcosky, S. D. Análise sensorial de alimentos. 2ª. Ed. Curitiba. Editora Champagnat, 2007. 239 p.

Editora Insumos (2013). Revista Food Ingredients Brasil: Substituição de sódio nos alimentos. São Paulo, SP: Autor.

Engel, B., de Monte Baccar, N., Marquardt, L., de Oliveira, M. S. R., & Rohlfes, A. L. B. (2016). Tecnologias de atomização e desidratação: alternativas para a produção de farinhas a partir de vegetais. Revista Jovens Pesquisadores, 6(1).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]. (2007) Pós-colheita de hortaliças – Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/olericultura/livros/POS%20COLHEITA%20DE%20HORTALICAS.pdf. Acessado em: 19 de junho de 2021.

Extra Online (s.f.). Extra Online. Recuperado 12 setembro 2021, de https://www.extra.com.br

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura [FAO] (1989). Document Repository. Prevention of postharvest food losses: Fruits, vegetables and root crops: Atraining manual, Forest Finance Working Paper 17-2. 1989. Recuperado em 29 agosto 2018 de http://www.fao.org/docrep/T0073E/T0073E01.htm#1.1%20The%20importance%20of%20post-harvest%20losses

Faria, P. B., Bressan, M. C., Vieira, J. O., & Pereira, A. D. A. (2010). Características fisico-quimicas e microbiológicas de ovos de codorna conservados na forma de picles Physico-chemical and microbiology of quail eggs preserved in the form of pickles. Alimentos e Nutrição Araraquara, 21(3), 415-420.

Fellows, P. J. (2006). Tecnologia do Processamento de Alimentos. 2 ed. . Artmed Editora.

Freitas, A. R. R., Napimoga, M., & Donalisio, M. R. (2020). Assessing the severity of COVID-19. Epidemiologia e Serviços de Saúde, 29, e2020119.

Figueira, N. (2017). Alimentos que se podem comer depois de vencidos. tudoreceitas.com. Recuperado em 01 junho 2021, de https://www.tudoreceitas.com/artigo-alimentos-que-se-podem-comer-depois-de-vencidos-4688.html

Fischer. (s. f.). Fischer. Recuperado 16 de julho 2021, de http://www.fischerfrutas.com.br/produtos

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. ScienceDirect. Recuperado em 01 maio 2021 de https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877401001066

Freire, M., Jr, da Matta, V. M., Cabral, L. M. C., da Matta, V. M., Furtado, A. A. L., & Embrapa Agroindústria de Alimentos. (2005). Polpa de fruta congelada. Embrapa Informação Tecnológica. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11881/2/00076180.pdf

Gava, A. J., da Silva, C. A. B., & Frias, J. R. G. (2009). Tecnologia de alimentos. NBL Editora.

Gomes, C. A. O., Alvarenga, A. L. B., Freire Junior, M., Cenci, S. A. (2005) Hortaliças Minimamente Processadas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste. Save Food Congress.

Guiné, R. P., Pinho, S., & Barroca, M. J. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (Cucurbita maxima). Food and bioproducts processing, 89(4), 422-428.

Helomar (s. f.) Helomar produtos. Recuperado em 16 julho 2021, de http://www.helomar.com.br/Produtos

Hemmer. (2021). Produtos | Hemmer. Recuperado em 20 junho 2021, de http://www.hemmer.com.br/produtos

Homemade - Mercado Livre. (s. f.). Produto Homemade. Homemade. Recuperado 17 de julho de 2021, de https://lista.mercadolivre.com.br/_DisplayType_G_CustId_713534271

Ingredion (s. f.) Rótulo limpo & simples. Recuperado 14 setembro 2021, de https://www.ingredion.com/sa/pt-br/solucione-os-desafios/desafios/rotulos-limpos.html

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. SIDRA. Recuperado em 10 junho 2021, de https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil

Instrução Normativa SDA nº 65 de 09 de setembro de 2003. Diário Oficial (2003). Recuperado em 04 de junho 2021, de https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-65-2003_74961.html

Instrução Normativa nº 47, de 30 de agosto de 2018. MAPA (2018). Estabelece o Regulamento Técnico do Açúcar, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto, na forma desta Instrução Normativa e dos Anexos I a IV. Brasília, 2018Diário Oficial da União, 06/09/2018, 173, 1, 12-15. Recuperado em 10 junho 2021, de https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39939558/do1-2018-09-06-instrucao-normativa-n-47-de-30-de-agosto-de-2018-39939440

Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019. Diário Oficial da União: nº 249, (2019). Acessado em 05 de junho de 2021. Disponível em: https://www.cevs.rs.gov.br/upload/arquivos/202004/17093620-in-anvisa-60-2019.pdf

Izar, M. C. D. O., Lottenberg, A. M., Giraldez, V. Z. R., Santos, R. D. D., Machado, R. M., Bertolami, A., Assad, M. H. V., Saraiva, J. F. K., Faludi, A. A., Moreira, A. S. B., Geloneze, B., Magnoni, C. D., Scherr, C., Amaral, C. K., Araújo, D. B. D., Cintra, D. E. C., Nakandakare, E. R., Fonseca, F. A. H., Mota, I. C. P., Machado, V. A. (2021). Posicionamento sobre o Consumo de Gorduras e Saúde Cardiovascular – 2021. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, 116(1), 160–212. https://doi.org/10.36660/abc.20201340

Jasmine Alimentos. (s. f.). Produtos Orgânico. Recuperado 7 julho de 2021, de https://www.jasminealimentos.com/produtos/organico/

Jorge, A. (2014). Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Kalsoom, U.; Nesterenko, P. N.; Paull, B. (2018). Current and future impact of 3D printing on the separation sciences. Trends in Analytical Chemistry, 105, p. 492-502.

Kawazoe, L. (2016, novembro 05). A importância de rótulos limpos e ingredientes naturais. Campo Grande News. Recuperado em 12 setembro, 2021, de https://www.campograndenews.com.br/artigos/a-importancia-de-rotulos-limpos-e-ingredientes-naturais

Kim, H. W., Lee, J. H., Park, S. M., Lee, M. H., Lee, I. W., Doh, H. S., & Park, H. J. (2018). Effect of hydrocolloids on rheological properties and printability of vegetable inks for 3D food printing. Journal of Food Science, 83(12), 2923-2932.

Kist, B. B., Santos, C. E. S., Carvalho, C.; Beling, R. R. (2018) Anuário brasileiro de horti&fruti 2019. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz.

Krolow, A. C. R. (2006). Hortaliças em conserva. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

Klugev, R.A., Modolo, A., Jacomino, A.P., Scarpare Filho, J.A. Tessarioli Neto, J. Minami, K. (1998). Comportamento de três hortaliças de fruto submetidas ao aquecimento intermitente durante a frigoconservação Sci. Agric. v. 55, n. 3. Disponível em: https://www.scielo.br/j/sa/a/DMyMFYgbhfYxMcQzL5FKYbJ/?lang=pt#. Acessado em: 19 de junho de 2021.

Khubber, S., Chaturvedi, K., Gharibzahedi, S. M. T., Cruz, R. M., Lorenzo, J. M., Gehlot, R., & Barba, F. J. (2020). Non-conventional osmotic solutes (honey and glycerol) improve mass transfer and extend shelf life of hot-air dried red carrots: Kinetics, quality, bioactivity, microstructure, and storage stability. LWT, 131, 109764.

La Vita. (s. f.). Produtos | La Vita. Recuperado 11 de julho 2021, de https://lavita.com.br/produtos/

Lafarga, T., Gallagher, E., Bademunt, A., Bobo, G., Echeverria, G., Viñas, I., & Aguiló Aguayo, I. (2018). Physiochemical and nutritional characteristics, bioaccessibility and sensory acceptance of baked crackers containing broccoli co products. International Journal of Food Science & Technology, 54(3), 634–640. https://doi.org/10.1111/ijfs.13908

Le, D., & Konsue, N. (2021). Mass Transfer Behavior During Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation of “Phulae” Pineapple and the Effects on Dried Fruit Quality. Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 9(1), 308-319.

Leandro, S. M.; Pessoa, J. D. C. (2016). Protótipo de aplicativo para dispositivos móveis compatível com uma impressora 3D de alimentos. Multiciência, São Carlos, 14, p. 35 – 52.

Leite, I. F. S., Moura, T. C., Alixandre, B. M. A., Pereira, F. K., & de Farias, F. G. (2016). Avaliação sensorial, microbiologia e físico-química de suco artificial de laranja adicionado de diferentes agentes adoçantes. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 11(4), 194-197.

León, J. J., Villegas, J. A. S., Elías, J. L, & Chu, A.R. (2020). Efecto de la variedad y fecha de siembra en el potencial productivo de remolacha azucarera. Biotecnia, 22(3), 5–10. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.969

Lima, A. S., Trancoso, F. O., Moura, K. M., Almeida, L. B., Silva, T. N. S., Souza, W. M., & Marcellini, P. S. (2009). Caracterização centesimal de maxixe e sua aplicação na produção de picles. Alimentos e Nutrição Araraquara, 17(4), 407-412.

Lima, M. I. P. (2010) Dicas especiais de aproveitamentos de alimentos. Prefeitura Municipal de Londrina/ Secretaria Municipal da Agricultura e Abastecimento. Londrina: PML/SMA, 12 p.

Linea Alimentos. (s. f.). Geleia. Linea. Recuperado 17 de julho de 2021, de https://www.lineaalimentos.com.br/geleia?PS=50&O=OrderByNameASC

Liu, Y., Zhang, Z., & Hu, L. (2021). High efficient freeze-drying technology in food industry. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1–19. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261

Loja Ritter. (s. f.). Geleias & mel. Ritter. Recuperado 17 de julho de 2021, de https://www.lojaritter.com.br/geleias-mel

Lovatto, M. T. (2016). Agro industrialização de frutas. Universidade Federal de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 98.

Lusa (2021, fevereiro 04). Investigadores imprimem vegetais frescos em 3D. RTP Notícias. Recuperado em 12 setembro, 2021, de https://www.rtp.pt/noticias/mundo/investigadores-imprimem-vegetais-frescos-em-3d_n1294887

Machado, S. S. (2012) Tecnologia da fabricação do açúcar. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 56 p.

Mãe Terra (s.f.). Mãe Terra. Recuperado 13 de setembro de 2021, de https://www.maeterra.com.br/

Magalhães, C. F.; Nasajon, D. R. (2016). Biko: Talher descartável para pequenas porções de alimentos. Blucher Design Proceedings, 2(9), p. 5362-5373.

Mais Vita. (2018). Açúcar. Recuperado em 10 julho 2021, de https://www.maisvita.com.br/produto/acucar-mascavo/

Maldonade I. Pepinos em conserva. Embrapa Hortaliças. Brasília DF-2009. Disponível em;< www.cnph.embrapa.br/paginas/bbeletronica/2009/ct/ct_72.pdf> acesso: em 12 março de 2019.

MAPA. (1999). Portaria n º 379, de 26 de abril de 1999. [Legislação] https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1999/prt0379_26_04_1999.html

MAPA. (2003). Resolução – RDC nº 267, de 25 de setembro de 2003. [Legislação]. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/rdc0267_25_09_2003.html

Martín-Sánchez, A. M., Cherif, S., Ben-Abda, J., Barber-Vallés, X., Pérez-Álvarez, J. N., & Sayas-Barberá, E. (2014). Phytochemicals in date co-products and their antioxidant activity. Food Chemistry, 158, 513–520. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.172

Matos, E. H. S. F. & Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB. (2007). Dossiê Técnico (Processamento de Frutas Cristalizadas ed.). http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTA5

Matta, V. M., Candéa, T. V., Monteiro, R. P., Freitas, D. G. C., & Penteado, A. L. (2010). Desenvolvimento de compota de abacaxi em calda de melado. Embrapa Agroindústria de Alimentos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).

Mazé Doces (s. f.) Mazé Doces. Recuperado em 16 julho 2021, de https://www.mazedoces.com.br/loja/

Melo, J. M. M. C., Guilhome, P. D., Nascimento, K. D. O. D., Barbosa Júnior, J. L., & Barbosa, M. I. M. J. (2012). Aspectos microbiológicos e informação nutricional de molho de tomate orgânico oriundo da agricultura familiar. Brazilian Journal of Food Technology, 15(SPE), 18-22.

Mendonça, C. R., Zambiazi, R. C., Gularte, M. A., & Granada, G. G. (2005). Características sensoriais de compotas de pêssego light elaboradas com sucralose e acesulfame-K. Food Science and Technology, 25(3), 401-407.

Meneses, V. P., Silva, J. R. A., Neto, J. F., Rolim, H. O., Araújo, A. L. M., & Lima, P. S. E. (2018). Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 13(4), 472-482.

Mintel News. (2020, 16 septiembre). É hora de reduzir o açúcar em frutas embaladas na América Latina. Mintel.Com. https://brasil.mintel.com/blog/noticias-mercado-alimentos-bebidas/e-hora-de-reduzir-o-acucar-em-frutas-embaladas-na-america-latina

Mora, M. R., & Dando, R. (2021). The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(2), 1554–1583. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12703

Moraes, I.V.M. (2006). Dossiê Técnico conservação de hortaliças. Disponível em: http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MzE=. Acessado em: 19 de junho de 2021.

Morais, M. M., & Silva, M. A. (2011). Retenção de aroma na secagem em atmosferas normal e modificada: desenvolvimento do sistema de estudo. Food Science and Technology, 31(2), 295-302.

Moretti, C. L. (2007) Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças.

Moura, A. M. M. 2013. O mecanismo de rotulagem ambiental: Perspectivas de aplicação no Brasil. Boletim Regional, Urbano e Ambiental. 7, Jan.-Jun.

Nascimento, A. M. C. B., Nunes, R. G. F. L., Nunes, L. A. P. L. (2011) Elaboração e avaliação química, biológica e sensorial de conserva de maxixe (Cucumis anguria L.). Revista ACTA Tecnológica, 6, 123-136.

Nascimento, R. F. D., Gavron, A. B., Bowles, S., Chaves, E. S., & Bortolozo, E. A. F. Q. (2017). Determinação dos teores de sódio e potássio em refeições servidas em um restaurante universitário da região sul do Brasil. Brazilian Journal of Food Technology, 20(0). https://doi.org/10.1590/1981-6723.16716

Nascimento, W.M., 2021. Artigo - Comercialização e consumo de hortaliças durante a pandemia do novo coronavírus. [online] Embrapa.br. Recuperado em 4 julho 2021, em https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/52561599/artigo---comercializacao-e-consumo-de-hortalicas-durante-a-pandemia-do-novo-coronavirus

Native Orgânicos. (s. f.). Açúcares - na Native Orgânicos. Native Orgânicos - Loja Oficial da Native Produtos orgânicos. Recuperado 7 de julho de 2021, de https://www.nativeorganicos.com.br/categoria/acucares/

Nitzke, J. (2021). Vegetais Congelados. NAPEAD. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: https://www.ufrgs.br/napead/projetos/vegetais-congelados. Acessado em: 23 de junho de 2021.

Novameat (s. f.) Novameat. Recuperado 09 setembro 2021, de https://www.novameat.com/

Oetterer, M.; Arce, M. A. B. R.; Spoto, M. H. F. (2006) Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos. Barueri, SP: Manole.

Oliveira, E. N. A., Feitosa, B. F., & Souza, R. L. A. (2018). Tecnologia e processamento de frutas: doces, geleias e compotas. Editora IFRN. Recuperado em 02 julho 2021, de https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1664/Tec.%20e%20Proc.%20de%20Fruta%20s%20-%20E-Book.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oliveira, E. N. A., & Santos, D. C. (2015). Tecnologia e processamento de frutos de frutos e hortaliças. IFRN Editora. https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/363/Tecnologia%20e%20Processamento%20de%20Frutos%20e%20Hortalic%20as%20.pdf?sequence=1

Oliveira, M. D. S., Lacerda, L. N. L., Santos, L. C. D., Lopes, A. C. S., Câmara, A. M. C. S., Menzel, H. J. K., & Horta, P. M. (2015). Consumo de frutas e hortaliças e as condições de saúde de homens e mulheres atendidos na atenção primária à saúde. Ciência & Saúde Coletiva, 20, 2313-2322.

Organização Mundial de Saúde (2020). All about masks in the context of COVID-19. Recuperado em 12 setembro 2020, de https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks

OPAS - Organização Pan-Americana de Saúde. (2021). Novos parâmetros de referência da OMS ajudam países a reduzir a ingestão de sal e salvar vidas. OPAS/OMS | Organização Pan-Americana da Saúde.Recuperado em 10 agosto 2021, de https://www.paho.org/pt/noticias/5-5-2021-novos-parametros-referencia-da-oms-ajudam-paises-reduzir-ingestao-sal-e-salvar

Pão de Açúcar (s.f.). Pão de Açúcar. Recuperado em 13 setembro 2021, de https://www.paodeacucar.com/

Parisi, M., Henrique, C., & Prati, P. (2012). Perdas pós-colheita: um gargalo na produção de alimentos. Pesquisa & Tecnologia, 6(2).

Payene, J. H. (1989) Operações unitárias na produção de açúcar de cana. São Paulo: Nobel.245 p.

Pereda, J. A. O. (2005). Tecnologia de alimentos. Porto Alegre, RS: Artmed, 2005. 2 v.

Pereira, E. M., Leite Filho, M. T., dos Santos, Y. M. G., Pereira, B. B. M., & Maracajá, P. B. (2015). Elaboração e qualidade de geleia e compota de abacaxi "pérola". Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 10(1), 149-153.

Perez, R., Ramos, A. M., Binoti, M. L., Sousa, P. H. M., Machado, G. M., Cruz, I. B. (2008) Perfil dos consumidores de hortaliças minimamente processadas de Belo Horizonte. Horticultura Brasileira, 26(4), 441-446.

Plastilânia. (s. f.). Balde para conservas. Embalike. Recuperado 19 de julho de 2021, de https://www.embalike.com.br/produtos/balde-para-conservas-22-litros-com-alca-tampa-e-lacre-1-unidade-plastilania/

Pessoa, T. R., Portela, J. V. F., El-Aouar, Â. A., & Martins, P. C. (2015). Estudo da cinética de secagem em camada delgada da bráctea da macambira. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 10(3), 25.

Predilecta Alimentos. (2021). Linhas de Produtos. Recuperado em 14 junho 2021, de https://www.predilecta.com.br/produtos_linha.php?cat=5&sub=13

Picoloto, A. T.; Pfüller, E. E. (2014) Importância da qualidade da matéria-prima e processamento de conservas de pepino na Ecobisa indústria e comércio de conservas Ltda, Sananduva/RS. RAMVI, Getúlio Vargas, 01 (2).

Pilon, L., OettererII, M., Gallo, C.R., Spoto, M.H.F. (2006). Vida útil de cenoura e pimentão minimamente processados. Food Sci. Technol 26 (1). Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000100025.

Poder da Terra (s.f.). Produtos Poder da Terra. Recuperado 13 de setembro 2021, de https://wnutri.commercesuite.com.br/-ct-9-373043.htm

Portal Brasil. (2016) Ciência e Tecnologia: Embrapa inova no processamento mínimo de vegetais. http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/07/embrapa-traz-inovacao-tecnologica-no-processamento-minimo-de-vegetais

Qfruto. (s. f.). Produtos - Qfruto Polpas e Frutas. Recuperado 25 de junho 2021, de http://www.qfruto.com.br/produtos

Queensberry. (s. f.). Queensberry. Recuperado 17 de julho de 2021, de https://www.geleiasqueensberry.com.br/

Resolução CNS MS nº 04, de 24 de novembro de 1988. Aprova o uso de aditivos em diversas categorias de alimentos Conselho Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. Brasília. Diário Oficial da União, seção 1 de 19 de dezembro de 1988.

Resolução da Diretoria Colegiada nº 15 de julho de 1977. (1977). Diário Oficial da União, nº 61, 1, de 15 de julho de 1977. Recuperado em 12 junho 2021, de https://www.jusbrasil.com.br/diarios/3237238/pg-61-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-15-07-1977

Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978 (1978). Normas técnicas especiais. Diário Oficial da União 24 de julho de 1978.

Resolução da Diretoria Colegiada nº 259, de 20 de setembro de 2002 (2002). Diário Oficial da União, nº 184, de 23 de setembro de 2002. Recuperado em 15 maio 2021, de https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-259-de-20-de-setembro-de-2002.pdf/view

Resolução de Diretoria Colegiada - RDC n° 352, de 23 de dezembro de 2002 (2002) Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Frutas e ou Hortaliças em Conserva e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Frutas e ou Hortaliças em Conserva. Brasília. Diário Oficial da União pag. 140, seção 1, de 08 de janeiro de 2003.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 272, de 22 de setembro de 2005 (2005). Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. Brasília. Diário Oficial da União nº 184, de 23 de setembro de 2005.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 273, de 22 de setembro de 2005 (2005). Regulamento técnico para misturas para o preparo de alimentos e alimentos prontos para o consumo. Brasília. Diário Oficial da União pag. 375, seção 3, 23 de setembro de 2005

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005 (2005). Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos. Brasília. Diário Oficial da União pag. Nº 184, 23 de setembro de 2005

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 65, de 4 de outubro de 2007 (2007). Dispõe sobre o uso de aditivos alimentares para geleias e dá outras providências. Brasília. Diário Oficial da União de 08 de outubro de 2007.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 8, de 6 de março de 2013 (2013). Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. Brasília. Diário Oficial da União.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 7, de 06 de março de 2013 (2013). Dispõe dos coadjuvantes de tecnologia para produtos de frutas e de vegetais, incluindo cogumelos comestíveis. Recuperado em 10 junho de 2021, de https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-7-de-6-de-marco-de-2013.pdf/view.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 8, de 06 de março de 2013 (2013). Dispõe sobre aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. Recuperado em 10 junho de 2021, de https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0008_06_03_2013.html#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20%2D%20RDC%20N%C2%BA%208%2C%20DE,III%20e%20IV%2C%20do%20art.

Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 331, de 23 de dezembro de 2019 (2019). Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Brasília. Diário Oficial da União nº 249, sessão 1, pág. 96, de 26 de dezembro de 2019.

Ricaeli Alimentos. (s. f.). Ricaeli Alimentos | Polpas de Frutas Congeladas. Recuperado 25 de junho de 2021, de https://www.ricaeli.com.br/polpas-de-frutas-congeladas.asp

Rodrigues, A.A.M., Silva, S.M., Dantas, A.L., Silva, A.F., Santos, L.S., Moreira, D.N. (2018). Physiology and postharvest conservation of 'Paluma' guava under coatings using Jack fruit seed-based starch. Rev. Bras. Frutic. 40 (2). Recuperado em 01 maio 2021 em: https://doi.org/10.1590/0100-29452018352

Rodrigues, R. (2021) Desafios e oportunidades da fruticultura. Notícias ABRAFRUTAS, 8 junho de 2021. Recuperado em: 01 julho 2021, de https://abrafrutas.org/2021/06/roberto-rodrigues-desafios-e-oportunidades-da-fruticultura/

Roig Vila, D. (2020). Towards sustainable diets: a multidisciplinary approach. Nutrición Hospitalaria. Published. https://doi.org/10.20960/nh.03356

Romano, K. R., Ruella, P. R., Branco, C. S. V., Tolentino, V. R., & Oliveira, L. F. (2013). Processamento de conservas de tomates orgânicos desidratados: Uma alternativa para agricultura familiar. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 8(4), 97-104.

Rosa, P.P., Nunes, L.P., Chesini, R.G., Pozada, T.N., Silva, G.F., Camacho, J.S., Faria, M.R., Mota, G.N., Ferreira, O.G.L., & Lopes, A. A. (2019). Utilização de coprodutos industriais na alimentação de ruminantes: revisão bibliográfica. Revista Científica Rural, 21(3), 222–234. https://doi.org/10.30945/rcr-v21i3.2695

Rossetti, J. C. (2015) Olerícolas: geração de empregos no campo; diversidade e qualidade no prato da população. Casa da Agricultura. Ano 18, 2.

Saltveit, M. E. (1999). Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology, 15(3), 279–292. https://doi.org/10.1016/s0925-5214(98)00091-x

Santana, S. B., Perfeito, D. G. A., & de Lima, B. P. (2019). Avaliação sensorial de compota de abacaxi "pérola" adoçada com edulcorantes. Multi-Science Journal (ISSN 2359-6902), 2(1), 51-56.

Santos, A. A. C., Florêncio, A. K. G. D., Rocha, É. M. D. F. F., & da Costa, J. M. C. (2014). Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por spray-dryer. Revista Ciência Agronômica, 45(3), 508-514.

Santos, A. M. S., Carvalho, D. A., Souza, E. L. S., Miranda, J. A., Reis, M. M., Batista, M. S. B., & Wiltshire, F. M. S. (2021). Higiene e conservação dos alimentos. [Livro Digital] - Even3 Publicações. Recuperado em 25 junho 2021, de https://publicacoes.even3.com.br/book/higiene-e-conservacao-dos-alimentos-38633

Santos, J.S., Oliveira, M.B.P.P. (2012). Revisão: alimentos frescos minimamente processados embalados em atmosfera modificada. Braz. J. Food Technol. v. 15, n. 1, 2012 Doi: https://doi.org/10.1590/1981-6723.07016. Acessado em: 20 de junho de 2021.

Santos, M. L., Machado, A. V., Alves, F. M. S., & Costa, A. P. L. M. (2013). Estudo físico-químico de maçã desidratada em secador convectivo. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 8(1), 5.

Santos, P. (2021). Brasil deve ter produção recorde de 39,3 mi de toneladas de açúcar. Canal Rural. https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/cana/cana-de-acucar-safra-deve-atingir-producao-recorde-com-393-mi-de-toneladas/

Santos, S. L. B. 2016. Impressão 3D: perspectivas de adoção na Indústria Portuguesa. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova Lisboa, Portugal. 72p.

Schude, S., Prawiranto, K., & Defraeye, T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. ScienceDirect. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877420304623

Scussel Verduras. (s. f.). Scussel Verduras. Recuperado 9 de junho 2021, de http://www.scusselhortifruti.com.br/produtos.html

SEBRAE - Ideia de Negócios. (2019). Como montar um negócio de frutas desidratadas [Curso]. Recuperado em 20 maio 2021, em: https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-negocio-de-frutas-desidratadas,aae9e05452c78410VgnVCM1000003b74010aRCRD

Select Green. (s. f.). Select Green - Produtos Processados e Hidropônicos. Recuperado 9 de junho 2021, de http://selectgreen.com.br/produtos.htm

Serena, A., & Knudsen, K. B. (2007). Chemical and physicochemical characterisation of co-products from the vegetable food and agro industries. Animal Feed Science and Technology, 139(1–2), 109–124. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.12.003

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2017). Agroindústria: produção de doces e conservas. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). — 1. ed. Brasília: SENAR, 2017. https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/176-DOCES-E-CONSERVAR.pdf

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2015). Agronegócio: Fruticultura. Boletim de inteligência. Outubro 2015. Recuperado em 01 junho 2021, de https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/64ab878c176e5103877bfd3f92a2a68f/$File/5791.pdf

Shanker, D. (2021, abril 28) Beyond Meat e Impossible Foods travam guerra da carne à base de vegetais. Exame. Recuperado em 10 setembro, 2021, de https://exame.com/inovacao/beyond-meat-e-impossible-foods-travam-guerra-da-carne-a-base-de-vegetais/

Siddick, S. A., & Ganesh, S. (2014). Spray drying technology for producing fruit powders from tomatoes and tamarillo. In XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1120 (pp. 343-348).

Silgan White Cap. (2021). Embalagens para conservas. SILGAN. Recuperado em 01 julho 2021, de https://www.silganwhitecap.com.br/embalagens-conservas

Silva, F. T. (1997). Manual de produção artesanal de doce em massa. Rio de Janeiro, EMBRAPA - Comissão Técnica de Acompanhamento da Avaliação (CTAA), 1997. 12 p. EMBRAPA - CTAA, n. 18.

Silva, F. T. (2000). Recomendações técnicas para o processamento de hortaliças congeladas. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos.

Silva, E. D. O., Pinto, P. M., Jacomino, A. P., & Silva, L. T. (2011). Processamento mínimo de produtos hortifrutícolas. Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E).

Silva, M. B. L.; Macedo, D. C.; Pereira, L. A.; Silva, J. C. (2012) Comparação entre a aceitação sensorial de compotas dietéticas e convencionais. Gl. Sci Technol., Rio Verde, v. 05, n. 03, p. 156–161, set/dez.

Sorvedoces. (2019, 30 octubre). Consumo de sorvete no Brasil cresceu 80,2%. Sorvedoces - Tudo para sorveterias e festas. http://sorvedoces.surrealgroup.com.br/post/11/Consumo-de-sorvete-no-Brasil-cresceu-80-2-

Souza, C. M., & Bragança, M. G. L. (s. f.). Agroindústria: Processamento Artesanal de Frutas - Fruta Cristalizada. EMATER -MG. Recuperado em 21 junho 2021, de https://www.emater.mg.gov.br/doc/site/serevicoseprodutos/livraria/Agroind%C3%BAstria/Processamento%20Artesanal%20de%20Frutas%20-%20Fruta%20Cristalizada%20%20abacaxi,%20figo,%20mam%C3%A3o%20).pdf

Souza, J. D., Costa, M. D. R., de Rensis, C. M. V. B., & Sivieri, K. (2010). Sorvete: composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico Ice cream: composition, processing and addition of probiotic. Alimentos e Nutrição Araraquara, 21(1), 155-165.

Souza Neto, M. A., Lima, A. S., Lima, J. R., Maia, G. A., Figueiredo, R. W. (2006) Manga e Melão Desidratados. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.

Souza, T. I. M., Costa, C. A., & Chauca, M. N. (2018). Influence of the heat treatment on the quality of ivy gourd (Coccinia grandis). Horticultura Brasileira, 36(1), 126-129.

Spagnol, W.A., Junior, V.S., Pereira, E., Filho, N.G. (2018). Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. Braz. J. Food Technol. v. 21. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjft/a/6bs6q5QrNhWWGND7FdhqFHk/?lang=pt. Acessado em: 20 de junho de 2021.

Sukeaw Samakradhamrongthai, R., & Jannu, T. (2021). Effect of stevia, xylitol, and corn syrup in the development of velvet tamarind (Dialium indum L.) chewy candy. Food Chemistry, 352, 129353. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129353

Takagaki. (2020, 13 julho). Produtos. . Recuperado 9 de junho 2021, de https://takagaki.com.br/produtos/

Tio Paco. (2021). Produtos Tio Paco. Sandeleh Alimentos. Recuperado em 01 julho 2021, de http://www.sandelehalimentos.com.br/product2.html

Tolentino, G. (2021). Otimização multiobjetivo para o planejamento integrado do cultivo da cana-de-açúcar e da cana-energia visando a produção de sacarose e fibra. (Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita", Bauru, Brasil) https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/210861/tolentino_g_dr_bauru.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Torrezan, R. (2015) Doce em Massa. Brasília, DF: Embrapa, 68 p.

Torrezan, R. (1998). Manual para a produção de geleias de frutas em escala industrial. Embrapa Agroindústria de Alimentos-Documentos (INFOTECA-E).

União. (2021). Produtos. União. Recuperado em 10 julho 2021, de https://uniao.com.br/produtos

Unica – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. (2020, 30 julio). Prêmio Energia Brasil. Unica. https://unica.com.br/iniciativas/premio-energia-brasil/

Vilas Boas, B. M., Gonçalves, G. A. S., Alves, J. A., Valério, J. M., Alves, T. C., Rodrigues, L. J., Piccoli, R. H., & Vilas Boas, E. V. D. B. (2012). Qualidade de pequis fatiados e inteiros submetidos ao congelamento. Ciência Rural, 42(5), 904–910. https://doi.org/10.1590/s0103-84782012005000016

Verdureira. (s. f.). Nossos produtos. Recuperado 9 de junho 2021, de https://www.verdureira.com.br/nossos-produtos

Vidal, F. (2020). Produção e mercado de açúcar. Caderno Setorial ETENE, 5(122), 1–9. https://www.bnb.gov.br/documents/80223/7600112/2020_CDS_122.pdf/3209edd4-1c0c-ec1d-1519-c32349fa26c0

Vieira, A. P., Nicoleti, J. F., & Telis, V. R. N. (2012). Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. Brazilian Journal of Food Technology, 15, 50-58.

Viva Salute Alimentação Saudável Ltda. (s. f.). Produtos. Recuperado 10 de julho de 2021, de https://www.vivasalute.com.br/

Wei, H., Seidi, F., Zhang, T., Jin, Y., & Xiao, H. (2021). Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. Food Chemistry, 337, 127750. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127750

Zhan, X., Zhu, Z., & Sun, D. W. (2018). Effects of pretreatments on quality attributes of long-term deep frozen storage of vegetables: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 59(5), 743–757. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1496900

Zotarelli, M. F., Durigon, A., da Silva, V. M., Hubinger, M. D., & Laurindo, J. B. (2020). Rehydration of mango powders produced by cast-tape drying, freeze drying, and spray drying. Drying Technology, 1-13.

Zucca, R.; Santos, R. C.; Lovatto, J.; Lovatto F.; Sanches, A. C. (2018). Estudo da viabilidade do uso de prototipagem rápida 3d em processos produtivos no meio rural. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Goiânia, 15 (28), p. 517.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.005

CAPÍTULO 5

TECNOLOGIA APLICADA AO PROCESSAMENTO DE CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS

Monalisa Pereira Monalisa Pereira Dutra Andrade[1*], Bruna Néria Azevedo Gonçalves[1], Karina Vila Verde[1], Larissa Costa de Oliveira[1]

Resumo

O Brasil ocupa posição de destaque, liderando o ranking mundial de exportação de carne bovina e frango. O Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal (RIISPOA) é o principal documento que dispõe sobre as normas de funcionamento dos abatedouros frigoríficos e das unidades de beneficiamento de carne e produtos cárneos. Sendo os diversos produtos cárneos regulamentados através dos padrões de identidade e qualidade estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Estratégias de reformulação de produtos cárneos atendem à demanda dos consumidores por alternativas alimentares mais saudáveis. A redução de cloreto de sódio, gordura animal e a substituição dos antioxidantes sintéticos pelos naturais têm sido objeto de estudo de pesquisadores do mundo inteiro. Ainda há o mercado relacionado à produção de análogos da carne e a iminente perspectiva de formas alternativas de fontes proteicas, como por exemplo, a carne de base celular ou carne cultivada.

Palavras-chaves: Processamento; Qualidade; Legislação; Frigorífico.

[1]Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri.
*email: monalisadutra@ict.ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

A carne é o produto pecuário mais valioso no mercado atual, sendo composto de proteínas, minerais, gorduras, vitaminas, componentes bioativos e pequenas quantidades de carboidratos. Do ponto de vista nutricional, a importância da carne é derivada de sua proteína de alta qualidade, contendo todos os aminoácidos essenciais e é altamente biodisponível em minerais e vitaminas. Embora o consumo de carne tenha sido relativamente estático no mundo desenvolvido, o consumo anual per capita de carne dobrou desde 1980 nos países em desenvolvimento. A população crescente e os rendimentos, juntamente com as mudanças nas preferências alimentares, estão aumentando a demanda por produtos pecuários. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a produção mundial de carne deve dobrar até 2050, esse comportamento é esperado na maioria dos países em desenvolvimento (FAO,2019).

Os dados divulgados no mês de março do ano de 2019 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) demonstram que o Brasil é o maior exportador mundial de carne bovina e de aves e o quarto maior exportador de carne suína, sendo o segundo maior produtor mundial das carnes bovina e de aves e o quarto maior produtor de carne suína (USDA,2021).

A Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA) aponta o setor de derivados cárneos como líder no ranking de faturamento líquido entre as indústrias de alimentos no Brasil. No ano de 2019 o valor do faturamento do setor cárneo foi de R$ 168,2 bilhões (ABIA, 2020).

O Art. 276 do Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de origem Animal (RIISPOA) define carne como massas musculares e os demais tecidos que as acompanham, incluída ou não a base óssea correspondente, procedentes das diferentes espécies animais, julgadas aptas para o consumo pela inspeção veterinária oficial (Brasil,2017a).

O Art. 277 do RIISPOA define carcaças como massas musculares e os ossos do animal abatido, tecnicamente preparado, desprovido de cabeça, órgãos e vísceras torácicas e abdominais, respeitadas as particularidades de cada espécie. Este artigo ainda estabelece que é obrigatória a remoção da carne que fica ao redor da lesão do local da sangria, a qual é considerada imprópria para o consumo, respeitadas as particularidades de cada espécie (Brasil,2017a).

O Art. 278. do RIISPOA define miúdos como os órgãos e as partes de animais de abate julgados aptos para o consumo humano pela inspeção veterinária oficial, por exemplo, nos ruminantes (encéfalo, língua, coração, fígado, rins, rúmen, retículo, omaso, rabo e mocotó), nos suídeos (língua, fígado, coração, encéfalo, estômago, rins, pés, orelhas, máscara e rabo) e nas aves (fígado, coração e moela sem o revestimento interno). Os miúdos podem ser aproveitados para consumo direto, de acordo com os hábitos regionais, tradicionais ou de países importadores, como pulmões, baço, medula espinhal, glândula mamária, testículos, lábios, bochechas, cartilagens e outros a serem definidos em normas complementares, desde que não se constituam em materiais especificados de risco (Brasil, 2017a).

O Art. 279. do RIISPOA define produtos de triparia como as vísceras abdominais utilizadas como envoltórios naturais, tais como os intestinos e a bexiga, após receberem os tratamentos tecnológicos específicos. Podem ainda ser utilizados como envoltórios os estômagos, o peritônio parietal, a serosa do esôfago, o epíplon e a pele de suíno depilada. Os intestinos utilizados como envoltórios devem ser previamente raspados e lavados, e podem ser conservados por meio de dessecação, salga ou outro processo aprovado pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Brasil, 2017a).

O Art. 280 do RIISPOA determina que as carnes e os miúdos utilizados na elaboração de produtos cárneos devem estar livres de gordura, aponeuroses, linfonodos, glândulas, vesícula biliar, saco pericárdico, papilas, cartilagens, ossos, grandes vasos, coágulos, tendões e demais tecidos não considerados aptos ao consumo humano, sem prejuízo de outros critérios definidos pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Excetua-se da obrigação de remoção dos ossos da carne utilizada na elaboração dos produtos cárneos em que a base óssea faça parte de sua caracterização (Brasil, 2017a).

Entretanto, o Art. 281 do RIISPOA estabelece que é proibido o uso de intestinos, tonsilas, glândulas salivares, glândulas mamárias, ovários, baço, testículos, linfonodos, nódulos hemolinfáticos e outras glândulas como matéria-prima na composição de produtos cárneos (Brasil, 2017a).

Por sua vez, o Art. 282 do RIISPOA determina que é permitido a utilização de sangue ou suas frações no preparo de produtos cárneos, desde que obtido em condições específicas definidas em normas complementares. No entanto, é proibido o uso de sangue ou suas frações procedentes de animais que venham a ser destinados a aproveitamento condicional ou que sejam considerados impróprios para o consumo humano. Além disso, também é proibida a desfibrilação manual do sangue quando destinado à alimentação humana (Brasil, 2017a).

Por fim, o Art. 283 do RIISPOA define produtos cárneos como aqueles obtidos de carnes, de miúdos e de partes comestíveis das diferentes espécies animais, com as propriedades originais das matérias-primas modificadas por meio de tratamento físico, químico ou biológico, ou ainda pela combinação destes métodos em processos que podem envolver a adição de ingredientes, aditivos ou coadjuvantes de tecnologia (Brasil, 2017a). A Resolução de Diretoria Colegiada nº 272, de 14 de março de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária define carnes e produtos cárneos como (Brasil, 2019a):

- Carnes: partes musculares comestíveis de animais abatidos e declarados aptos para o consumo humano pela inspeção veterinária oficial, constituídas pelos tecidos moles que envolvem o esqueleto, incluindo sua cobertura de gordura, tendões, vasos, nervos, aponeuroses, a pele dos suídeos e aves (exceto da ordem Struthioniformes) e todos aqueles tecidos não separados durante a operação de abate. Também é considerado carne o diafragma. Não são contempladas por esta definição as carnes separadas mecanicamente (Brasil, 2019a).

- Carnes *in natura*: carnes que não receberam nenhum tratamento de conservação diferente da aplicação de frio (carne resfriada e congelada), que mantém suas características naturais e que não receberam a adição de ingredientes. Não se permite o uso de aditivos (Brasil, 2019a).

Produtos cárneos processados industrializados: produtos preparados à base de carne e/ou subprodutos cárneos comestíveis, adicionados ou não de outros ingredientes autorizados. Subproduto cárneo comestível é qualquer parte do animal de abate declarada apta para consumo humano pela inspeção veterinária oficial, que não se enquadra na definição de carne. Nos subprodutos cárneos frescos, não é autorizado o uso de aditivos (Brasil, 2019a).

Produtos cárneos processados industrializados frescos: produtos industrializados crus não submetidos a processos de cozimento ou secagem (Brasil, 2019a).

A Resolução de Diretoria Colegiada nº 272, de 14 de março de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos, suas respectivas funções, limites máximos e condições de uso. O emprego de aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia é limitado por normas específicas, fundamentadas em especificações mais atuais estabelecidas pelo *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* – JECFA (Comitê da FAO/OMS de Especialistas em Aditivos Alimentares), pelo *Food Chemicals Codex* – FCC (Código dos Produtos Químicos Alimentícios), ou pela União Europeia (Brasil, 2019a).

Os limites máximos previstos correspondem aos valores a serem observados no produto pronto para o consumo, de acordo com as instruções de preparo do fabricante. Quando forem utilizados dois ou mais aditivos alimentares com a mesma função tecnológica e para os quais existem limites máximos numéricos estabelecidos, a soma das quantidades destes aditivos no produto pronto para o consumo não pode ser superior ao maior limite

estabelecido para o aditivo permitido em maior quantidade. Caso um mesmo aditivo alimentar seja utilizado com o objetivo de exercer duas ou mais funções tecnológicas, para as quais tenham sido estabelecidos limites máximos numéricos diferentes, a quantidade máxima a ser utilizada não pode ser superior ao maior limite estabelecido para este aditivo, dentre as funções para as quais é autorizado (Brasil, 2019a).

A Instrução Normativa n° 60, de 23 de dezembro de 2019 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos onde está incluso o padrão microbiológico para carnes e produtos cárneos (Brasil, 2019b). Em conjunto com esse regulamento foi publicada a Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação (Brasil, 2019c).

2. Conceitos e operações do processamento de carnes

O processamento da carne tem por objetivo aumentar sua vida útil, desenvolver diferentes sabores e utilizar partes do animal de difícil comercialização no seu estado fresco (Terra, 2000).

2.1 Conceitos

Especiarias

As especiarias são os produtos constituídos de partes (raízes, rizomas, bulbos, cascas, folhas, flores, frutos, sementes, talos) de uma ou mais espécies vegetais, tradicionalmente utilizadas para agregar sabor ou aroma ao produto cárneo temperado (Brasil, 2018).

A Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 276, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabelece as espécies vegetais consideradas especiarias:

Açafrão (*Crocus sativus L.*); Aipo marrom e verde (*Apium graveolens L.*); Alcaparra (*Capparis spinosa L.*); Alecrim (*Rosmarinus officinalis L.*); Alho (*Allium sativum L.*); Alho poró (*Allium porrum L.*); Anis estrelado (*Illicium verum Hook.*); Baunilha (*Vanilla planifolia Jacks.*); Canela-da-china (*Cinnamomum cassia Ness ex Blume*); Canela-do-ceilão (*Cinnamomum zeylanicum Ness*); Cardamono (*Elettaria cardamomum L.*); Cebola (*Allium cepa L.*); Cebolinha verde (*Allium schoenoprasum L.*); Cerofólio (*Anthriscus cerofolium L. Hoffm.*); Coentro (*Coriandrum sativum L.*); Cominho (*Cuminun cyminum L.*); Cravo-da-índia (*Caryophyllus aromaticus L.*) ou Eugenia (*Caryphyllata Thumb*); Cúrcuma (*Curcuma*

longa L.) e Curcuma doméstica (*Valenton*); Curry (*Murraya koenigii L. Spreng*); Endro ou aneto ou dill (*Anethum graveolens L.*); Erva-doce ou anis ou anis doce (*Pimpinella anisum L.*); Estragão (*Artemisia dracunculus L.*); Feno-grego (*Trigonella foenum-graecum L.*); Funcho (*Foeniculum vulgare Mill.*); Gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*); Gergelim (*Sesamum indicum L.*); Hortelã ou hortelã-pimenta (*Mentha piperita L.*); Kümmel ou alcaravia (*Carum carvi L.*); Louro (*Laurus nobilis L.*); Manjericão ou alfavaca ou basílico (*Ocimum basilicum L.*); Manjerona (*Majorana hortensis Moench.* ou *Origanum majorana L.*); Menta ou menta doce ou hortelã-doce (*Mentha arvensis L.*); Mostarda-branca (*Sinapsis alba L.* ou *Brassica alba Rabenth*); Mostarda-preta (*Brassica nigra L. Koch* ou *Sinapis nigra L.*); Mostarda amarela ou parda (*Brassica hirta Moench.* ou *Brassica juncea L.*); Noz-moscada ou macis (*Myristica fragrans Houtt*); Orégano chileno (*Origanum vulgare L.)*; Orégano mexicano (*Lippia graveolens Kunth*); Papoula (*Papaver somniferum L.*); Páprica (*Capsicum annuum L.*); Pimenta-branca, preta, verde ou pimenta-do-reino (*Piper nigrum L.*); Pimenta-de-caiena (*Capsicum baccatum L.*); Pimenta vermelha ou pimenta-malagueta (*Capsicum frutescens L.*); Pimenta cumari (*Capsicum praetermissum Heiser & Smith*); Pimentão vermelho, pimentão verde, pimentão amarelo e pimenta doce (*Capsicum annuum L.*); Pimenta-da-jamaica (*Pimenta officinalis Lindl.* ou *Pimenta dioica L. Merr.*); Pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*); Raiz forte (*Armoracia rusticana P. Gaertn*); Salsa (*Petroselinum sativum Hoffm.* ou *Petroselinum crispum Mill. Nyman.*); Sálvia (*Salvia officinalis L.*); Segurelha (*Satureja hortensis L.*); Tomate (*Lycopersicum esculentum L.*); Tomilho (*Thymus vulgaris L.*); Urucum (*Bixa orellana L.*) e Zimbro (*Juniperus communis L.*) (Brasil, 2005).

Condimentos

Os condimentos são produtos obtidos da mistura de especiarias e de outros ingredientes, fermentados ou não, empregados para agregar sabor ou aroma ao produto cárneo temperado, podendo ser designados por temperos (Brasil, 2018).

2.2 Operações do processamento de carnes

Imersão (Marinação)

A imersão ou marinação consiste na adição de condimentos ao produto cárneo temperado, por meio da imersão da peça de carne, por tempo determinado, em solução específica (Brasil, 2018).

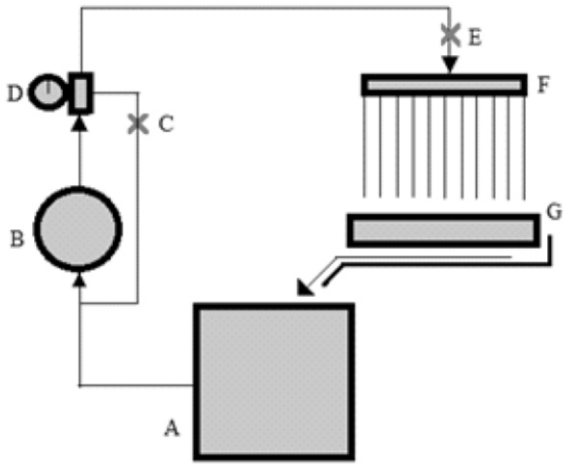
Tradicionalmente, a carne é marinada por imersão em uma solução ácida para melhorar a maciez, sabor ou para estender a vida útil do produto, limitando o crescimento de bactérias, especialmente as patogênicas. Muitos estudos indicam o efeito benéfico da marinação na textura da carne, que fica mais suculenta, assim como na perda de água durante o cozimento (Latoch, 2020). Vários produtos, incluindo azeite, vinho tinto, suco de romã, suco de limão, molho de soja, óleo de tomilho e vinagre de maçã são utilizados na marinação de carnes (Gargi & Sengun, 2021).

Injeção

A injeção consiste na adição de condimentos ao produto cárneo temperado, por meio do uso de equipamento específico contendo agulhas (Brasil, 2018).

O modo básico de operação de um equipamento injetor de salmoura na carne pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Diagrama de equipamento injetor de salmoura em carne.



Fonte: Autor (2021).
Legenda: A: tanque de salmoura; B: bomba centrífuga; C: válvula; D: câmara com manômetro; E: válvula; F: banco de agulhas; G: esteira transportadora.

As porções de carne a serem injetadas são colocadas em uma esteira transportadora, onde o banco de agulhas desce para penetrar na carne injetando a salmoura. Uma válvula que controla o fluxo de salmoura onde as agulhas são alimentadas é aberta quando as agulhas descem na carne ou quando sua retirada da carne começa. O fluxo de salmoura para as agulhas é interrompido à medida que as agulhas são levantadas, antes que a esteira transportadora avance. Isso é necessário para evitar que a salmoura escorra das agulhas levantadas, o que pode resultar na injeção de ar no produto quando eles forem inseridos novamente na carne.

A salmoura é circulada dentro do equipamento por uma bomba centrífuga operada a uma velocidade constante. A salmoura de um tanque é bombeada para uma câmara de onde há duas saídas. Uma saída fornece salmoura para a linha conectada ao coletor de agulha de injeção. A outra saída é para uma linha que retorna a salmoura para a linha de entrada da bomba. Essa linha de retorno de salmoura está equipada com uma válvula ajustável; e a câmara de onde correm o coletor e as linhas de retorno está equipada com um manômetro (Uttaro, Badoni, Zawadski, & Gill, 2011).

Tambleamento

O tambleamento consiste na adição de condimentos ao produto cárneo temperado por ação mecânica de em equipamento apropriado (Brasil, 2018). É uma etapa fundamental na fabricação de produtos à base de carne curada e/ou cozida. Geralmente é realizada em tambores rotativos (*tumblers*), sendo as condições de processamento altamente variáveis devido às diferenças no design do tambor e nas condições operacionais. O tempo de processamento e a velocidade de rotação dependem do tipo de carne, tamanho da peça e propriedades do produto. O tempo de processamento está normalmente na faixa de 2 a 12 h e a velocidade de rotação varia de 4 a 12 rpm. Às vezes, é usado um regime intermitente que alterna períodos de rotação com períodos de descanso. A energia mecânica que é transmitida às peças de carne devido à queda e ao choque contra os defletores leva à deformação da carne. Estudos mostram que a queda da carne modifica a estrutura do seu tecido, aumenta a difusão aparente do sal, promove a solubilização e extração de proteínas, melhora o rendimento do cozimento e confere melhor maciez e suculência ao produto cárneo (Daudin et al., 2016).

O tambleameto é realizado em temperatura de refrigeração (geralmente até 10 °C), às vezes sob vácuo. Ele aciona forças mecânicas que aumentam a transferência de ingredientes, em particular para compostos de alto peso molecular com baixos coeficientes de difusão, aumentando o rendimento da produção. Durante o processo de tombamento, a rotação do tambor faz com que os pedaços de carne rolem uns sobre os outros, batendo-os com as pás. Essa ação envolve, portanto, pressão mecânica, que provoca alterações no tecido cárneo e ativa mecanismos de transferência de massa. Os tombos da carne promovem o aumento da difusividade aparente do NaCl de 20% até 200%, modificando a estrutura do tecido e adicionando convecção à difusão. O tombamento costuma ser feito sob vácuo contínuo ou de pulso lento. O processamento a vácuo promove a expansão e descarga dos gases ocluídos no produto, resultando em maior influxo de soluto. Este é particularmente o caso de grandes pedaços de carne para os quais a agitação por pulso de vácuo, que consiste em fases alternadas de imersão a vácuo e condições de pressão atmosférica, dá origem a mecanismos hidrodinâmicos que facilitam a infiltração de soluto (Mirade et al., 2020).

Corte e Moagem

O corte é um dos procedimentos básicos na fabricação de produtos de carne picada. Nesse processo, o tamanho das partículas da matéria-prima é reduzido, as proteínas são hidratadas, a gordura emulsificada e outros ingredientes são misturados para dar uma mistura homogênea. Esse processo leva à ligação da quantidade necessária de água, influenciando no sabor e suculência dos produtos (Vodyanova, Storrø, Olsen, & Rustad, 2012). A moagem é realizada com o intuito de facilitar a homogeneização das carnes e dos condimentos (Terra, 2000).

Mistura

A etapa de mistura tem como principal objetivo a homogeneização da carne moída e/ou triturada, bem como os demais ingredientes da composição do produto em um equipamento denominado misturadora, onde permanece por tempo suficiente para que ocorra a completa mistura e incorporação de todos os ingredientes, aditivos e conservantes da formulação (Roça, 2000). Na indústria geralmente são utilizados misturadores os quais possuem braços helicoidais que, além de possuir uma boa capacidade de homogeneização, tem pouco atrito o que faz com que a matéria-prima não sofra aquecimento durante esta fase. A utilização de misturadores a vácuo aumenta a extração da proteína e evita a formação de bolhas de ar, que, durante o cozimento, podem ser preenchidas de gordura, diminuindo a possibilidade de oxidação do produto (Rodrigues, 1978).

Embutimento

No processo de embutimento, a massa cárnea é acondicionada em envoltórios naturais ou artificiais denominados “tripas”. Os envoltórios de tripas naturais são produzidos a partir do trato intestinal do aparelho digestivo de suínos, ovinos e bovinos. Já os envoltórios artificiais são derivados do colágeno, celulose ou poliméricos (Pardi, 1996).

Cozimento

O processo de cozimento resulta em algumas mudanças nos produtos cárneos, como a firmeza, um fator importante para manter o formato desses produtos. O calor agrupa as estruturas como resultado das transformações das proteínas. As proteínas solúveis da carne, que são solubilizadas durante a formação da mistura cárnea, passam por uma gelatinização induzida pelo calor. Essa ação promove estabilização das partículas de gordura fundidas e imobiliza a água. O resultado é a firmeza que ocorre durante o cozimento. A estabilização da estrutura é melhor alcançada quando as taxas de aumento da temperatura são constantes. A diferença entre a temperatura da estufa de cozimento e a temperatura do produto é chamada temperatura diferencial, a qual deve ser mantida constante. Quando a temperatura aumenta de maneira discreta com grandes diferenciais de temperatura, a gordura pode derreter e ligar-se antes de ocorrer a desnaturação das proteínas. Do mesmo modo, se as taxas de umidade nas estufas de cozimento forem muito altas, especialmente no início do cozimento, a carga de energia necessária também será alta e o comprometimento das gorduras pode ocorrer antes da desnaturação suficiente das proteínas para a estabilização das gorduras (Judge, Aberle, Forrest, Hedrick, & Merkel, 1989). Outro propósito importante do processo térmico é desenvolver e fixar o pigmento nos produtos cárneos pela desnaturação do óxido nítrico da mioglobina. O grau de aquecimento utilizado nos processos é dependente das especificações e padrões de identidade sob os quais cada produto é processado (Lawrie, 1985).

Defumação

O processo de defumação baseia-se na exposição do alimento à fumaça proveniente da queima incompleta de madeira, serragem, carvão, etc. A defumação de alimentos é um método antigo de preservação, melhorando a qualidade sensorial através dos componentes aromáticos que conferem ao produto proteção bactericida, cor, sabor e efeito antioxidante. O êxito na preparação de defumados depende da aplicação da fumaça e da combinação de fatores físicos e químicos, sendo necessário um controle rigoroso de cada uma das etapas da defumação. A defumação na atualidade não é mais aplicada somente com o objetivo de conservação e sim como processo através do qual o produto adquire características sensoriais agradáveis (Lingbeck, Cordero, O'bryan, Johnson, Ricke, Crandall, 2014).

3. Produtos cárneos regulamentados no Brasil

Carne Mecanicamente Separada

De acordo com a Instrução Normativa Nº 4, de 31 de março de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, entende-se por Carne Mecanicamente Separada (CMS) a carne obtida por processo mecânico de moagem e separação de ossos de animais de açougue, destinada a elaboração de produtos cárneos específicos. O produto pode ser classificado como: resfriado ou congelado. Como denominação de venda, o produto será designado de Carne Mecanicamente Separada, seguido do nome da espécie animal que o caracterize, exemplo: Carne Mecanicamente Separada de Ave; Carne Mecanicamente Separada de Bovino; Carne Mecanicamente Separada de Suíno. Com relação à composição, serão utilizados ossos, carcaças ou partes de carcaças de animais de açougue (aves, bovinos e suínos), que tenham sido aprovados para consumo humano pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF). Não poderão ser utilizadas cabeças, pés e patas. O produto definido como Carne Mecanicamente Separada deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 1 (Brasil, 2000a) e pode ser visualizado na Figura 1.

Tabela 1. Características físico-químicas de Carne Mecanicamente Separada.

Características físico-químicas	Porcentagem (%)
Gordura (máx)	30
Proteína (mín)	12
Teor de cálcio (máximo base seca)	1,5
Diâmetro dos ossos (máximo)	98% deverão ter tamanho de 0,5 mm
Largura (máximo)	0,85 mm
Índice de peróxido (máximo)	1 mEq KOH por kg de gordura

Fonte: Brasil, 2020a.

Almôndegas

De acordo com a Instrução Normativa Nº 20, de 31 de julho de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por almôndega, o produto cárneo industrializado, obtido a partir da carne moída de uma ou mais espécies de animais de açougue, moldada na forma arredondada, adicionada de ingredientes e submetido ao processo tecnológico adequado. O produto pode ser classificado como: cru, semi-frito, frito, cozido ou esterilizado. Como denominação de venda, o produto será designado de almôndega, seguido do nome da espécie animal, acrescido ou não do termo "carne", exemplo: Almôndega Bovina ou Almôndega de Carne Bovina; Almôndega de Frango ou Almôndega de Carne de Frango; Almôndega de Peru ou Almôndega de Carne de Peru; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carnes de diferentes espécies de animais de açougue e como ingredientes opcionais: gordura animal e/ou vegetal; água; sal; extensor de massa; proteínas de origem animal e/ou vegetal; carboidratos; aditivos intencionais; condimentos; aromas e especiarias. Permite-se, no limite máximo de 30%, a adição de carne mecanicamente separada, exclusivamente em almôndega cozida. Será permitida a utilização de 4% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. O produto definido como almôndega deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 2 (Brasil, 2000b).

Tabela 2. Características físico-químicas de almôndegas.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Gordura (máx)	18
Proteína (mín)	12
Carboidratos totais (máximo)	10
Teor de cálcio (máx base seca)	0,1 em almôndega crua 0,45 em almôndega cozida

Fonte: Brasil, 2000b.

Quibe (Kibe)

A Instrução Normativa n° 20, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define kibe como o produto cárneo industrializado, obtido de carne bovina ou ovina, moída, adicionado com trigo integral, acrescido de ingredientes. Quando a carne utilizada não for bovina ou ovina, será denominado de Quibe (Kibe) seguido do nome da espécie animal de procedência. O produto pode ser classificado como: cru, frito ou assado. Como denominação de venda, o produto será designado de kibe, acrescido ou não de recheio, seguido das expressões que couberem. Quando a carne utilizada não for bovina ou ovina deverá ser mencionada a espécie animal. Exemplos: Quibe de Frango; Quibe de Carne Suína; Quibe ou Quibe de Carne Bovina; Quibe com Amêndoas; Outros. Com relação à composição, devem ser utilizados como ingredientes

obrigatórios: carne, trigo integral e água. Como ingredientes opcionais podem ser: sal; gordura vegetal e/ou animal; proteínas de origem animal e/ou vegetal; recheios; condimentos; aromas; especiarias e aditivos intencionais. Permite-se, no limite máximo de 30%, a adição de carne mecanicamente separada, exclusivamente em almôndega cozida. Será permitida a utilização de 4% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. O produto definido como kibe deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 3 (Brasil, 2000b).

Tabela 3. Características físico-químicas de quibe (kibe).

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Proteína (mín)	11
Teor de cálcio (máx base seca)	0,1

Fonte: Brasil, 2000b.

Linguiça

A Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define linguiça como o produto cárneo industrializado, obtido de carnes de animais de açougue, adicionados ou não de tecidos adiposos, ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial e submetido ao processo tecnológico adequado (Brasil, 2000a). A classificação da linguiça é variável de acordo com a tecnologia de fabricação, tratando-se de um produto: fresco; seco, curado e/ou maturado; cozido ou outros. De acordo com a composição da matéria prima e das técnicas de fabricação:

- Linguiça Calabresa: É o produto obtido exclusivamente de carnes suína, curado, adicionado de ingredientes, devendo ter o sabor picante característico da pimenta calabresa submetidas ou não ao processo de estufagem ou similar para desidratação e ou cozimento, sendo o processo de defumação opcional.
- Linguiça Portuguesa: É o produto obtido exclusivamente de carnes suína, curado, adicionado de ingredientes, submetido a ação do calor com defumação. A forma de apresentação consagrada do produto é a de uma "ferradura", e com sabor acentuado de alho.
- Linguiça Toscana: É o produto cru e curado, obtido exclusivamente de carnes suína, adicionada de gordura suína e ingredientes.
- Paio: É o produto obtido de carnes suína e bovina (máximo de 20%) embutida em tripas natural ou artificial comestível, curado e adicionado de ingredientes, submetida a ação do calor com defumação.

Nas linguiças denominadas Tipo Calabresa, Tipo Portuguesa e Paio, que são submetidas ao processo de cozimento, será permitido a utilização de até 20% de carne mecanicamente separada (CMS), desde que seja declarado no rótulo de forma clara ao consumidor a

expressão "carne mecanicamente separada de ...." (espécie animal), além da obrigatoriedade de constar na relação de ingredientes a expressão "contém..." ou "com CMS (espécie animal)". A CMS utilizada poderá ser substituída por carne de diferentes espécies de animais de açougue, até o limite máximo de 20%.

Como denominação de venda, o produto será designado de Linguiça, seguido de denominação ou expressões que o caracterizem, de acordo com a sua apresentação para venda, tais como: Linguiça de Carne Bovina; Linguiça de Carne Suína; Linguiça de Lombo Suíno; Linguiça de Lombo e Pernil Suíno; Linguiça de Carne Suína Defumada; Linguiça Calabresa; Linguiça Portuguesa; Linguiça Toscana; Linguiça de Carne de Peru; Linguiça de Carne de Frango; Linguiça Mista; Linguiça Tipo Calabresa; Linguiça Tipo Portuguesa; Linguiça Cozida de ...; Paio; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne das diferentes espécies de animais de açougue e sal. Como ingredientes opcionais: gordura; água; proteína vegetal e/ou animal; açúcares; plasma; aditivos intencionais; aromas; especiarias e condimentos. Não sendo permitida a sua adição nas linguiças toscana, calabresa, portuguesa, blumenau e colonial. É proibido o uso de carne mecanicamente separada em Linguiças Frescais (cruas e dessecadas). O uso de CMS em Linguiças Cozidas é limitado em 20%. Para a etapa de embutimento das linguiças poderão ser utilizados envoltórios naturais ou artificiais. Estes envoltórios poderão estar protegidos por substâncias glaceantes, que deverão estar aprovadas junto ao órgão competente (Brasil, 2000a). Permite-se a adição de proteínas não cárneas, no teor máximo de 2,5%, como proteína agregada (Brasil, 2017b). O produto definido como linguiça deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 4.

Tabela 4: Características físico-químicas de linguiças.

Características físico -químicas	**Porcentagem (%)**		
	Frescais	**Cozidas**	**Dessecadas**
Umidade (máx)	70	60	55
Gordura (m áx)	30	35	30
Proteína (mín)	12	14	15
Teor de cálcio (máx base seca)	0,1	0,3	0,1

Fonte: Brasil (2000a).

Empanado

A Instrução Normativa n° 06, de 15 de fevereiro de 2001, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define empanado como produto cárneo industrializado, obtido a partir de carnes de diferentes espécies de animais de açougue, acrescido de ingredientes, moldado ou não, e revestido de cobertura apropriada que o caracterize. O produto pode ser classificado como cru, semi-cozido, cozido, semi-frito, frito ou outros. Como

denominação de venda, o produto será designado de empanado, seguido de expressões ou denominações que o caracterize de acordo com a sua apresentação para a venda, exemplo: Cortes Empanados de Ave; Cortes Empanados de Suíno; Cortes Empanados de Bovino; Steak Empanado de Frango ou de Suíno ou de Bovino; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: Carne de diferentes espécies de animais de açougue com cobertura apropriada e como ingredientes opcionais: proteínas de origem vegetal e/ou animal; aditivos intencionais; condimentos; aromas; especiarias; farinhas; féculas; amidos; vegetais; queijos; molhos e produtos cárneos industrializados. O produto na sua composição poderá conter recheios. Será permitida a utilização de 4% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. O produto definido como empanado deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 5 (Brasil, 2001).

Tabela 5: Características físico-químicas de empanado.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Carboidratos totais (máx)	30,0
Proteína (mín)	10,0

Fonte: Brasil, 2001.

Produto Cárneo Temperado

A Instrução Normativa n° 17, de 29 de maio de 2018, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define o produto cárneo temperado como todo o produto obtido de carnes, miúdos ou de partes comestíveis das diferentes espécies animais, seguida da especificação que couber, condimentado, com adição ou não de outros ingredientes, com ou sem recheio, resfriado ou congelado. Ficam excluídos deste Regulamento Técnico os produtos cárneos temperados submetidos ao tratamento térmico e os embutidos. Como denominação de venda, quando o produto cárneo temperado for recheado, deverá ser acrescida à denominação de venda, além do termo temperado, a expressão recheado (a), em caracteres uniformes em corpo e cor. Quando o produto cárneo temperado for acompanhado de produto de origem vegetal, animal ou ambos, deverá ser acrescida à denominação de venda, além do termo temperado, a expressão "acompanhado de..." ou "com ...", em caracteres uniformes de corpo e cor. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: as carnes, miúdos ou partes comestíveis das diferentes espécies animais, sal e condimentos. O teor de sal, mais os condimentos, deve representar no mínimo 1% (um por cento) da formulação do produto. Como ingredientes opcionais: aditivos intencionais; água; monossacarídeos; dissacarídeos; maltodextrinas; dextrinas; vinho; cachaça; cerveja; whisky; conhaque; suco de fruta; outras bebidas alcoólicas e não alcoólicas; vinagre; mel; coadjuvantes de tecnologia, conforme legislação específica; molhos; proteína de origem animal; proteína de origem vegetal; óleos e gorduras vegetais. Permite-se a adição máxima de 2% (dois por cento) de proteínas de origem animal e vegetal na forma de proteína agregada ao produto cárneo, excluindo-se o recheio, quando houver (Brasil, 2018).

Hambúrguer

A Portaria de Secretaria de Defesa Agropecuária n° 724, de 23 de dezembro de 2022, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define hambúrguer como produto cárneo industrializado obtido da carne moída dos animais de açougue, adicionado ou não de tecido adiposo e ingredientes, moldado na forma de disco ou na forma oval, e submetido a processo tecnológico adequado. O produto pode ser classificado como cru, cozido, congelado ou resfriado. Como denominação de venda, o produto será designado hambúrguer, seguido da indicação do nome da espécie animal de origem da carne e das demais expressões que couberem. A indicação do corte de carne utilizado no hambúrguer somente poderá ser incluída na denominação de venda quando 100% da matéria-prima cárnea for proveniente deste corte. Caso seja utilizado mais de um corte cárneo na elaboração do hambúrguer e queira indicá-los na rotulagem, as informações deverão ser incluídas na denominação de venda, com as respectivas porcentagens da composição dos cortes. No caso de hambúrguer produzido com carne de mais de uma espécie animal, a indicação das espécies deverá constar na denominação de venda do produto. No hambúrguer cozido, havendo a utilização de carnes obtidas por quaisquer processos de separação mecânica, deverá constar a espécie animal, na denominação de venda do produto. O recheio do hambúrguer, quando houver, deverá ser informado na denominação de venda do produto. É ingrediente obrigatório na produção do hambúrguer a carne obtida das massas musculares esqueléticas das espécies utilizadas. No caso de utilização de carne de aves, permite-se o uso de cortes ou recortes com a sua pele aderida à porção muscular, desde que haja indicação de sua presença na lista de ingredientes. São ingredientes opcionais na produção do hambúrguer: aditivos alimentares, coadjuvantes de tecnologia, água, condimentos, aromas, especiarias, gordura animal, gordura vegetal, maltodextrina, mono e dissacarídeos, proteínas de origem animal, proteínas de origem vegetal, sal (cloreto de sódio) e sais hipossódicos. Na fabricação do hambúrguer, é permitido o uso de vegetais e de queijos, na forma de recheio. No hambúrguer cozido é permitida a adição máxima de 30% de carnes obtidas por quaisquer outros processos de separação mecânica. Na fabricação do hambúrguer, quando forem utilizadas carnes obtidas por processos de separação mecânica, essa informação deverá constar na lista de ingredientes. Será permitida a adição máxima de 4% de proteínas não cárneas, na forma agregada. No caso de hambúrguer que contenha indicação dos cortes utilizados na denominação de venda, não será permitido a adição de proteínas não cárneas. O produto definido como hambúrguer deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 6 (Brasil, 2022).

Tabela 6: Características físico-químicas de hambúrguer.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Gordura (máx)	25
Proteína (mín)	15
Açúcares totais (carboidratos) (máx)	3
Teor de colágeno em relação à proteína total	8 aves e coelhos 20 bovinas e suínas

Fonte: Brasil, 2022.

Presunto Cru

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define presunto cru como produto cárneo industrializado obtido do pernil ou corte do pernil de suínos, adicionado ou não de condimentos, curado ou não, defumado ou não e dessecado. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como cru, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de presunto cru, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Presunto Cru Fatiado; Presunto Cru em Cubos; Presunto Cru Tipo Espanhol; Presunto Cru Tipo Italiano; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: pernil ou corte de pernil suíno e sal. Como ingredientes opcionais: açúcares; condimentos; aromas; especiarias e aditivos intencionais. Não será permitida a adição de fosfatos. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como presunto cru deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 7 (Brasil, 2000c).

Tabela 7: Características físico-químicas de presunto cru.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Gordura (máx)	20
Proteína (mín)	27

Fonte: Brasil, 2000c.

Presunto Tipo Parma

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define presunto tipo parma como produto cárneo industrializado obtido do pernil íntegro selecionado de suínos pesados, sem a pata, salgado e dessecado por um período mínimo de 10 meses. Entende-se por suíno pesado, animais vivos com peso mínimo de 130 kg, selecionados para a finalidade. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como salgado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Presunto Tipo Parma, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplos: Presunto Tipo Parma fatiado; Presunto Tipo Parma em partes;

Presunto Tipo Parma desossado; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: Pernil íntegro de suíno (peso mínimo de 9kg) e sal. Como ingredientes opcionais: Nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado, limitado ao período mínimo de 10 meses. O produto definido como Presunto Tipo Parma deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 8 (Brasil, 2000c).

Tabela 8: Características físico-químicas de presunto tipo parma.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Gordura (máx)	15
Proteína (mín)	27

Fonte: Brasil, 2000c.

Salame

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define salame como produto cárneo industrializado obtido de carne suína ou suína e bovina, adicionado de toucinho, ingredientes, embutido em envoltórios naturais e/ou artificiais, curado, fermentado, maturado, defumado ou não e dessecado. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como cru, curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame, seguido ou não das expressões que caracterizem sua origem ou processo de obtenção, exemplo: Salame Tipo Italiano; Salame Tipo Milano; Salame Tipo Hamburguês; Salame Tipo Friolano; Salame Tipo Calabrês; Salame Tipo Alemão; Salaminho; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne Suína (mínimo de 60%, exceto para o salame tipo hamburguês, onde o teor permitido é de no mínimo 50%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: carne bovina; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteína animal (proteínas lácteas, colágeno e outras); aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado, limitado ao período mínimo de 10 meses. O produto definido como Presunto Tipo Parma deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 9 (Brasil, 2000c).

Tabela 9: Características físico-químicas de salame.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Umidade (máxima)	40
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	20
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Italiano

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define o Salame Tipo Italiano como produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, moídos em granulometria média entre 6 e 9 mm, embutidos em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo Italiano, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Italiano Fatiado; Salame Tipo Italiano em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne suína (mí n. 60%); toucinho; sal e nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: carne bovina; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do Salame Tipo Italiano. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Italiano deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 10 (Brasil, 2000c).

Tabela 10: Características físico-químicas de Salame Tipo Italiano.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	35
Gordura (máxima)	32
Proteína (mín)	25
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Milano

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salame Tipo Milano como produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, com granulometria média entre 3 e 6 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo Milano, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Milano Fatiado; Salame Tipo Milano em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne Suína (mínimo de 60%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: carne bovina; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Milano deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 11 (Brasil, 2000c).

Tabela 11: Características físico-químicas de Salame Tipo Milano.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	35
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	23
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Hamburguês

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salame Tipo Hamburguês como produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, com granulometria média entre 3 e 6 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, curado, defumado, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como curado, defumado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo

Hamburguês, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Hamburguês Fatiado; Salame Tipo Hamburguês em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne Suína (mínimo de 50%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: carne bovina; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Hamburguês deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 12 (Brasil, 2000c).

Tabela 12: Características físico-químicas de Salame Tipo Hamburguês.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Umidade (máxima)	40
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	23
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Friolano

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salame Tipo Friolano como produto cárneo industrializado, elaborado exclusivamente de carnes suínas e toucinho, adicionado de ingredientes, moídos em granulometria média entre 6 e 9 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, adicionado de ingredientes, curado, defumado ou não, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como curado, fermentado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo Friolano, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Friolano Fatiado; Salame Tipo Friolano em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne suína; toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Friolano deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 13 (Brasil, 2000c).

Tabela 13: Características físico-químicas de Salame Tipo Friolano.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	35
Gordura (máxima)	30
Proteína (mín)	25
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Calabrês

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salame Tipo Hamburguês como produto cárneo industrializado, elaborado de carne suína ou suína e bovina, adicionado de toucinho, moídos em granulometria média entre 10 e 15 mm, adicionado de ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial, curado, fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto é caracterizado pelo sabor picante e calibre 80 mm. O produto pode ser classificado como curado, fermentado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo Calabrês, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Calabrês Fatiado; Salame Tipo Calabrês em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne Suína (mínimo de 60%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Calabrês deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 14 (Brasil, 2000c).

Tabela 14: Características físico-químicas de Salame Tipo Calabrês.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	35
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	25
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salame Tipo Alemão

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salame Tipo Alemão como produto cárneo industrializado, elaborado a partir de carne exclusivamente de suínos, adicionado de toucinho, moídos em granulometria fina (de 3 a 6 mm), embutidos em envoltório natural ou artificial, curado, fermentado, maturado, defumado ou não e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto pode ser classificado como curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salame Tipo Alemão, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salame Tipo Alemão Fatiado; Salame Tipo Alemão em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne suína; toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio e pimenta calabresa. Como ingredientes opcionais: leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salame Tipo Alemão deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 15 (Brasil, 2000c).

Tabela 15: Características físico-químicas de Salame Tipo Alemão.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Umidade (máxima)	40
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	25
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a*; Brasil, 2000c.

Salaminho

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Salaminho como produto cárneo industrializado, elaborado de carne suína ou suína e bovina, toucinho, com granulometria média entre 6 e 9 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, adicionado de ingredientes, curado, defumado ou não fermentado, maturado e dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação. O produto é caracterizado por ser embutido em tripas com calibre até 50 mm. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto é caracterizado pelo sabor picante e calibre 80 mm. O produto pode

ser classificado como curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Salaminho, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Salaminho Fatiado; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne Suína (mínimo de 60%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: carne bovina; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; proteínas lácteas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Salaminho deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 16 (Brasil, 2000c).

Tabela 16: Características físico-químicas de Salaminho.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	35
Gordura (máxima)	32
Proteína (mín)	25
Carboidratos totais (máximo)	4*

Fonte: Brasil, 2003a; Brasil, 2000c*.

Copa

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Copa como produto cárneo industrializado, obtido do corte íntegro da carcaça suína, denominado de nuca ou sobrepaleta, adicionado de ingredientes, maturado, dessecado, defumado ou não. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação. O produto é caracterizado pelo sabor picante e calibre 80 mm. O produto pode ser classificado como curado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Copa, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Copa em Pedaços; Copa Fatiada; Copa em Cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne suína (nuca ou sobrepaleta); sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: açúcares; aditivos intencionais; condimentos; aromas e especiarias. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Copa deverá apresentar como característica sensorial a cor de tonalidade avermelhada, com gordura esbranquiçada entremeada, podendo apresentar pontos de condimentos visíveis ao corte. Como características físico-químicas, deve atender aos parâmetros apresentados na Tabela 17 (Brasil, 2000c).

Tabela 17: Características físico-químicas de Copa.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,90
Umidade (máxima)	40
Gordura (máxima)	35
Proteína (mín)	20

Fonte: Brasil, 2000c.

Carne salgada curada dessecada ou *Jerked Beef*

A Instrução Normativa n° 92, de 18 de setembro de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define carne salgada curada dessecada como o produto cárneo obtido de carne, com adição de sal e de agentes de cura, submetido a processo de dessecação. Como denominação de venda, o produto será designado de carne bovina salgada curada dessecada ou *jerked beef*, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para a venda. Poderá ser utilizado adicionalmente a expressão “carne seca curada" após a denominação de venda, com mesmo tamanho e realce, para identificação do produto. No caso da utilização de carnes de outras espécies animais na elaboração do produto cárneo sua designação será "carne salgada curada dessecada" seguida da denominação da espécie. É facultada a utilização da especificação do corte na elaboração da carne salgada curada dessecada mediante sua declaração na denominação de venda. São previstas as seguintes etapas tecnológicas para a elaboração da carne curada dessecada: I) Desossa e manteação: consiste na desossa das carnes, no seu preparo em cortes ou pedaços, podendo ainda ocorrer sua manteação na qual é proporcionado o adelgaçamento das porções musculares. Esta etapa deve ser realizada em ambiente climatizado com temperatura máxima de 16 °C; II) Salga úmida ou salmouragem: consiste na injeção de salmoura (sal, sais ou agentes de cura e água) nos cortes ou pedaços, ou na sua imersão em salmoura em tanques fixos, podendo ainda serem tambleados. Esta etapa deve ser realizada em ambiente climatizado com temperatura máxima de 20 °C. Quando a etapa de salga úmida ocorrer no mesmo ambiente climatizado da desossa, a temperatura observada deve ser no máximo 16 °C; III) Salga seca: consiste na adição de sal aos cortes ou pedaços, dispostos em pilhas formadas por camadas intercaladas de carne e sal, de forma em que a altura da pilha seja suficiente para exercer uma pressão que permita a adequada dessecação do produto. Nessa etapa é realizado o processo de inversão das peças, denominado de tombo. Esta etapa deve ser realizadas em ambiente climatizado com temperatura máxima de 20 °C; IV) Remoção do excesso do sal: consiste na retirada do excesso de sal da superfície do produto, podendo ser realizada por meio da lavagem com água potável dos cortes ou pedaços, em tanques, ou outro método físico, com posterior empilhamento, objetivando o escoamento da água; V) Secagem: consiste na dessecação do produto, estendido em varais, posicionados em ambientes externos, cobertos ou não, com material que permita a passagem da luz solar,

ou estufas; e VI) Embalagem: consiste no preparo, fracionamento, prensagem e acondicionamento do produto. Com relação à composição, são utilizados como ingredientes obrigatórios: carne, sal (NaCl) e agentes ou sais de cura, sendo vedado o uso de carne industrial na elaboração da carne curada dessecada. O sal deve ser adicionado na forma de salmoura na salga úmida. Como ingredientes opcionais fica autorizado o uso de aditivos intencionais com as seguintes funções: estabilizante, acidulante, regulador de acidez e antioxidante. O produto definido como carne curada dessecada ou *jerked beef* deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 18 (Brasil, 2020b).

Tabela 18: Características físico-químicas de carne curada dessecada ou *Jerked Beef*.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máxima)	0,80
Umidade (máxima)	60
Resíduo mineral fixo - Cinzas (máximo)	25
Cloreto de sódio (mínimo)	12

Fonte: Brasil, 2020b.

Charque

A Instrução Normativa n° 92, de 18 de setembro de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define charque como o produto cárneo obtido de carne bovina, com adição de sal e submetido a processo de dessecação. Como denominação de venda, o produto será designado charque ou carne bovina salgada e dessecada seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para a venda. São previstas as seguintes etapas tecnológicas para a elaboração do charque:

I) Desossa e manteação: consiste na desossa das carnes, no seu preparo em cortes ou pedaços, podendo ainda ocorrer sua manteação na qual é proporcionado o adelgaçamento das porções musculares. Esta etapa deve ser realizada em ambiente climatizado com temperatura máxima de 16 °C;

II) Salga úmida ou salmouragem: consiste na injeção de salmoura (sal e água) nos cortes ou pedaços, ou na sua imersão em salmoura em tanques fixos, podendo ainda serem tambleados. Esta etapa deve ser realizada em ambiente climatizado com temperatura máxima de 20 °C. Quando a etapa de salga úmida ocorrer no mesmo ambiente climatizado da desossa, a temperatura observada deve ser no máximo 16 °C;

III) Salga seca: consiste na adição de sal aos cortes ou pedaços, dispostos em pilhas formadas por camadas intercaladas de carne e sal, de forma em que a altura da pilha seja suficiente para exercer uma pressão que permita a adequada dessecação do

produto. Nessa etapa é realizado o processo de inversão das peças, denominado de tombo. Esta etapa deve ser realizada em ambiente climatizado com temperatura máxima de 20 °C;

IV) Remoção do excesso do sal: consiste na retirada do excesso de sal da superfície do produto, podendo ser realizada por meio da lavagem com água potável dos cortes ou pedaços, em tanques, ou outro método físico, com posterior empilhamento, objetivando o escoamento da água;

V) Secagem: consiste na dessecação do produto, estendido em varais, posicionados em ambientes externos, cobertos ou não, com material que permita a passagem da luz solar, ou estufas;

VI) Embalagem: consiste no preparo, fracionamento, prensagem e acondicionamento do produto. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne e sal (cloreto de sódio), sendo vedado o uso de carne industrial na elaboração de charque. O sal deve ser adicionado na forma de salmoura na salga úmida. Como ingredientes opcionais fica autorizado o uso de aditivos intencionais com as seguintes funções: estabilizante, acidulante, regulador de acidez e antioxidante. O produto definido como charque deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 19 (Brasil, 2020b).

Tabela 19: Características físico-químicas de Charque.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máxima)	0,80
Umidade (máxima)	50
Resíduo mineral fixo - Cinzas (máximo)	23
Cloreto de sódio (mín imo)	12

Fonte: Brasil, 2020b.

Pepperoni

A Instrução Normativa n° 22, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Pepperoni como produto cárneo industrializado, elaborado de carnes suínas ou suínas e bovinas, toucinho, adicionado de ingredientes, com granulometria média entre 3 e 6 mm, embutido em envoltórios naturais ou artificiais, apimentado, curado, fermentado, maturado, dessecado por tempo indicado pelo processo de fabricação, defumado ou não. A presença de mofos característicos é consequência natural do seu processo tecnológico de fabricação O produto poderá sofrer processo de dessecação rápida em estufas apropriadas até que a temperatura no centro do mesmo atinja 62°C, mantendo-se as características de um produto maturado e dessecado.

O produto pode ser classificado como curado, fermentado, maturado e dessecado. Como denominação de venda, o produto será designado de Pepperoni, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com sua apresentação para venda, exemplo: Pepperoni fatiado; Pepperoni em cubos; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne suína (mínimo de 50%); toucinho; sal; nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio; páprica (pimentão vermelho picante). Como ingredientes opcionais: carne bovina; proteínas não cárneas; leite em pó; açúcares; maltodextrinas; aditivos intencionais; vinho; condimentos; aromas; especiarias e substâncias glaceantes como revestimento externo do salame. Como coadjuvantes de tecnologia: cultivos iniciadores (starters). O tempo de maturação/dessecação depende do processo tecnológico empregado. O produto definido como Pepperoni deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 20 (Brasil, 2000c).

Tabela 20: Características físico-químicas de Pepperoni.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Atividade de água (máx)	0,92
Umidade (máxima)	38
Gordura (máxima)	40
Proteína (mín)	20
Carboidratos totais (máximo)	1,5

Fonte: Brasil, 2000c.

Mortadela

De acordo com a Instrução Normativa Nº 4, de 31 de março de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por Mortadela, o produto cárneo industrializado, obtido de uma emulsão das carnes de animais de açougue, acrescido ou não de toucinho, adicionado de ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial, em diferentes formas, e submetido ao tratamento térmico adequado. O produto pode ser classificado de acordo com a composição da matéria-prima e das técnicas de fabricação:

- Mortadela: Carnes de diferentes espécies de animais de açougue, carnes mecanicamente separadas, até o limite máximo de 60%; miúdos comestíveis de diferentes espécies de animais de açougue (Estômago, Coração, Língua, Fígado, Rins, Miolos), pele e tendões no limite de 10% (máx.) e gorduras.
- Mortadela Tipo Bologna: Carnes Bovina e/ou suína e/ou ovina e carnes mecanicamente separadas até o limite máximo de 20%, miúdos comestíveis de bovino e/ou suíno e/ou ovino (Estômago, Coração, Língua, Fígado, Rins, Miolos), pele e tendões no limite de 10% (máx.) e gorduras.

- Mortadela Italiana: Porções musculares de carnes de diferentes espécies de animais de açougue e toucinho, não sendo permitida a adição de amido.
- Mortadela Bologna: Porções musculares de carnes bovina e/ou suína e toucinho, embutida na forma arredondada, não sendo permitida a adição de amido.
- Mortadela de Carne de Ave: Carne de ave, carne mecanicamente separada, no máximo de 40%, até 5% de miúdos comestíveis de aves (Fígado, Moela e Coração) e gordura.

Como denominação de venda, o produto será designado de Mortadela; Mortadela Tipo Bologna; Mortadela Italiana; Mortadela Bologna ou Mortadela de Ave. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: Carne das diferentes espécies animais de açougue e sal. Nas Mortadelas "Italiana" e "Bologna" o toucinho em cubos deverá ser aparente ao corte. Como ingredientes opcionais: água; gordura animal e/ou vegetal; proteína vegetal e/ou animal; aditivos intencionais; agentes de liga; açúcares; aromas, especiarias; condimentos; vegetais (amêndoas, pistache, frutas, azeitonas, etc.) e queijos. Será permitida a utilização de 4% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. Não será permitida a adição de proteínas não cárneas nas mortadelas Bologna e Italiana, exceto as proteínas lácteas. O produto definido como Mortadela deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 21 (Brasil, 2000a).

Tabela 21. Características físico-químicas de Mortadelas.

Características físico-químicas	**Porcentagem (%)**
Umidade (máximo)	65,0
Gordura (máximo)	30 e 35 (Bolonha e Italiana)
Proteína (mínimo)	12
Carboidratos totais (máximo)	10* e 3% (Bolonha e Italiana)
Amido (máximo)	5*
Teor de cálcio (máx base seca)	0,9 Mortadela
	0,6 Mortadela de Ave
	0,3 Mortadela Tipo Bologna
	0,1 Mortadela Italiana
	0,1 Mortadela Bologna

*A somatória do Amido máximo e Carboidratos totais não deverá ultrapassar a 10%.
Fonte: Brasil, 2011b*; Brasil, 2000a.

Salsicha

De acordo com a Instrução Normativa Nº 4, de 31 de março de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por Salsicha, o produto cárneo industrializado, obtido da emulsão de carne de uma ou mais espécies de animais de açougue, adicionados de ingredientes, embutido em envoltório natural, ou artificial ou por processo de extrusão, e submetido a um processo térmico adequado.

Nota: As salsichas poderão ter como processo alternativo o tingimento, depelação, defumação e a utilização de recheios e molhos. Trata-se de um produto cozido. O produto pode ser classificado de acordo com a composição da matéria-prima e das técnicas de fabricação:

- Salsicha: Carnes de diferentes espécies de animais de açougue, carnes mecanicamente separadas até o limite máximo de 60%, miúdos comestíveis de diferentes espécies de animais de açougue (Estômago, Coração, Língua, Rins, Miolos, Fígado), tendões, pele e gorduras.
- Salsicha Tipo Viena: Carnes bovina e/ ou suína e carnes mecanicamente separadas até o limite máximo de 40%, miúdos comestíveis de bovino e/ ou suíno (Estômago, Coração, Língua, Rins, Miolos, Fígado), tendões, pele e gorduras.
- Salsicha Tipo Frankfurt: Carnes bovina e/ ou suína e carnes mecanicamente separadas até o limite de 40%, miúdos comestíveis de bovino e/ ou suíno (Estômago, Coração, Língua, Rins, Miolos, Fígado) tendões, pele e gorduras.
- Salsicha Frankfurt: Porções musculares de carnes bovina e/ ou suína e gorduras.
- Salsicha Viena: Porções musculares de carnes bovina e/ ou suína e gordura.
- Salsicha de Carne de Ave: Carne de ave e carne mecanicamente separada de ave, no máximo de 40%, miúdos comestíveis de ave e gorduras.

Como denominação de venda, o produto será denominado de Salsicha, e opcionalmente poderá ter as seguintes denominações, isoladas ou combinadas de acordo com a sua apresentação para venda: Salsicha; Salsicha Viena; Salsicha Frankfurt; Salsicha Tipo Viena; Salsicha Tipo Frankfurt; Salsicha de Carne de Ave; Salsicha de Peru; Outras. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carnes das diferentes espécies de animais de açougue, conforme designação do produto, observando definição estabelecida no *Codex Alimentarius* e sal. Como ingredientes opcionais: água; gordura animal e/ou vegetal; proteína vegetal e/ou animal; aditivos intencionais; agentes de liga; açúcares; aromas, especiarias e condimentos. O emprego de miúdos e vísceras comestíveis (coração, língua, rins, estômagos, pele, tendões, medula e miolos) fica limitado no percentual de 10%, utilizados de forma isolada ou combinada, exceto nas Salsichas Viena e Frankfurt. Será permitida a utilização de 4% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. Não será permitida a adição de proteínas não cárneas nas Salsichas Viena e Frankfurt, exceto as proteínas lácteas. O produto definido como Salsicha deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 22 (Brasil, 2000a).

Tabela 22. Características físico-químicas de Salsichas.

Características físico-químicas	Porcentagem (%)
Umidade (máximo)	65
Gordura (máximo)	30
Proteína (mínimo)	12
Carboidratos totais (máximo)	7*
Amido (máximo)	2*
Teor de cálcio (máx base seca)	0,9 Salsicha
	0,6 Salsicha Tipo Viena
	0,6 Salsicha Tipo Frankfurt
	0,6 Salsicha de Ave
	0,1 Salsicha Viena
	0,1 Salsicha Frankfurt

*A somatória do Amido máximo e Carboidratos totais não deverá ultrapassar a 7%.
Fonte: Brasil, 2011b*; Brasil, 2000a.

Pasta ou Patê

De acordo com a Instrução Normativa Nº 21, de 31 de julho de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por Pasta ou Patê, o produto cárneo industrializado obtido a partir de carnes e/ou produtos cárneos e/ou miúdos comestíveis, das diferentes espécies de animais de açougue, transformados em pasta, adicionado de ingredientes e submetido a um processo térmico adequado. As pastas poderão apresentar, em suas composições, fragmentos de tecido muscular e/ou vegetais na forma triturada ou em pedaços. O produto pode ser classificado como: cozido, pasteurizado ou esterilizado. O Patê com teor de umidade maior que 60%, deverá ser, compulsoriamente, pasteurizado.

Como denominação de venda, o produto será designado de Pasta ou Patê, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com a sua apresentação para a venda, exemplo: Patê de Fígado de Suíno; Patê de Bacon; Patê de Presunto; Patê de Galinha; Patê de Peru; Patê de Fígado de Aves; Patê Tipo Calabrês; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne e/ou miúdos específicos das diferentes espécies de animais de açougue; sal e nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Os patês, seguidos de sua designação, deverão conter no mínimo 30% da matéria-prima que o designe, exceto o de fígado cujo limite mínimo poderá ser de 20%. Como ingredientes opcionais: gordura animal e/ou vegetal; proteína vegetal e/ou animal; açúcares; maltodextrina; leite em pó; amido; aditivos intencionais; vinho; conhaque; condimentos; aromas; especiarias; vegetais (amêndoas, pistaches, frutas, trufas, azeitona, etc.) e queijos. Será permitida a utilização de 3% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. O produto definido como Pasta ou Patê deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 23 (Brasil, 2000d).

Tabela 23. Características físico-químicas de Salsichas.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Umidade (máximo)	70
Gordura (máximo)	32
Proteína (mínimo)	8
Carboidratos totais (máximo)	10
Amido (máximo)*	10,0

*A somatória do Amido máximo e Carboidratos totais não deverá ultrapassar a 10%.
Fonte: Brasil, 2000d.

Morcelas

O Art. 298 do Regulamento Industrial de Inspeção Sanitária de Produtos de origem Animal (RIISPOA) define morcela como produto cárneo embutido elaborado principalmente a partir do sangue, com adição de toucinho moído ou não, condimentado e cozido (Brasil, 2017a).

Presunto

A Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária nº 765, de 6 de abril de 2023, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro como produtos cárneos, obtidos de cortes íntegros de pernil suíno, curado, cozido, defumado ou não, desossado ou não, com adição de ingredientes. Na fabricação do presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro é permitida a tenderização dos cortes íntegros. O presunto cozido tenro é obrigatoriamente defumado, nesse caso, a informação poderá constar na denominação de venda do produto. A presença da capa de gordura ou do osso deverá fazer parte da denominação de venda do produto. No caso de presunto superior, elaborado com pernil íntegro, a presença de pele deverá ser informada na denominação. Como denominação de venda está previsto presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro. São ingredientes obrigatórios na elaboração do presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro: cortes íntegros de pernil de suíno sem pele; nitritos e nitratos e suas variações, isolados ou combinados; e sal (cloreto de sódio). No caso do presunto cozido superior pode ser utilizado o pernil suíno com pele. Na fabricação do presunto cozido é permitida a adição de no máximo 10% da matéria-prima cárnea na forma moída. Na fabricação do presunto cozido tenro é permitida a adição de no máximo 5% de matéria-prima cárnea na forma moída. Na fabricação do presunto cozido superior não é permitida a moagem da matéria-prima. A moagem dos cortes íntegros do pernil deverá ser realizada na própria fábrica, sendo proibida a aquisição da matéria-prima já moída. São ingredientes opcionais na elaboração do presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro: aditivos alimentares, coadjuvantes de tecnologia, água, condimentos e especiarias, maltodextrina, mono e dissacarídeos, proteínas de origem animal, proteínas de origem

vegetal, sais hipossódicos. É permitida a adição de proteínas não cárneas, na forma agregada máxima de 1%, em presunto cozido tenro e máxima de 2%, para o presunto cozido. Quando se tratar do presunto cozido superior, não é permitida a utilização de qualquer proteína, que não tenha origem na massa muscular do pernil suíno, com exceção ao caseinato de sódio, no limite máximo de 1%. É permitido o uso de transglutaminase, como coadjuvante de tecnologia, na fabricação do presunto cozido, presunto cozido superior e presunto cozido tenro. O produto definido como Presunto deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 24 (Brasil, 2023).

Tabela 24: Características físico-químicas do Presunto.

Características físico -químicas	**Porcentagem (%)**	
	Tenro	**Cozido e Superior**
Relação umidade/proteína (máximo)	4,2	4,8
Proteína bruta (mínimo)*	18	16
Carboidratos (máximo)	1	2

*O teor mínimo de proteína bruta deve ser obtido a partir do produto isento de gordura.
Fonte: Brasil, 2023.

Apresuntado

A Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária nº 701, de 17 de novembro de 2022, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define apresuntado como produto cárneo, obtido a partir de recortes ou cortes das massas musculares dos membros anteriores, ou posteriores de suínos, transformados em massa, condimentado, com adição de ingredientes e submetido a processo térmico específico. Na fabricação do apresuntado é permitida a moagem e a tenderização das matérias primas cárneas. O produto pode ser classificado como cozido. Como denominação de venda, será designado de apresuntado. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne de pernil de suíno sem pele ou carne de paleta de suíno sem pele, nitritos e nitratos e suas variações, isolados ou combinados e sal (cloreto de sódio). Como ingredientes opcionais: aditivos alimentares, coadjuvantes de tecnologia, água, amido, até o máximo de 2%, condimentos, especiarias, maltodextrina, dextrina, mono e dissacarídeos, proteínas de origem animal, proteínas de origem vegetal e sais hipossódicos. Na elaboração do apresuntado, permite-se a adição de proteínas não cárneas, na forma agregada máxima de 2,5%. É permitido o uso da enzima transglutaminase, como coadjuvante de tecnologia, na fabricação do apresuntado. O produto definido como Apresuntado deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 25 (Brasil, 2022).

Tabela 25: Características físico-químicas de Apresuntado.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Umidade (máxima)	75
Gordura (máxima)	12
Proteína (mín)	13
Carboidratos totais (máximo)	5
Amido (máximo)	2
Colágeno (máximo com relação à proteína total)	25

Fonte: Brasil, 2022.

Fiambre

A Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 706, de 28 de novembro de 2022, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Fiambre como produto cárneo, obtido de carne de uma ou mais espécies animais, com adição ou não de miúdos e partes animais comestíveis, transformados em massa, condimentado, com adição de ingredientes e submetido a processo térmico específico. Entende-se por partes animais comestíveis: gordura, papada e pele. O produto pode ser classificado como cozido ou esterilizado. Como denominação de venda, será designado de Fiambre. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: Carne de diferentes espécies de animais de açougue e sal (cloreto de sódio). Como ingredientes opcionais: aditivos alimentares, coadjuvantes de tecnologia, água, amido, até o limite máximo de 5%, condimentos, especiarias, mono e dissacarídeos, maltodextrina, dextrina, proteínas de origem animal, proteínas de origem vegetal, queijos, sais hipossódicos e vegetais. Na elaboração do fiambre, é permitido o uso de carne mecanicamente separada até o limite máximo de 30%, de miúdos comestíveis e partes animais comestíveis, individual ou em conjunto, até limite total máximo de 10%, proteínas não cárneas, na forma agregada, no limite máximo de 2,5% e da enzima transglutaminase, como coadjuvante de tecnologia. O produto definido como fiambre deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 26 (Brasil, 2022).

Tabela 26: Características físico-químicas de Fiambre.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)
Umidade (máxima)	70
Proteína (mín)	12
Carboidratos totais (máximo)	10
Amido (máximo)	5
Teor de cálcio (máx base seca)	0,45
Colágeno (máximo com relação à proteína total)	25

Fonte: Brasil, 2022.

Lombo

A Instrução Normativa n° 21, de 31 de julho de 2000, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Lombo, seguido da especificação que couber, o produto cárneo industrializado obtido do corte da região lombar dos suínos, ovinos e caprinos, adicionado de ingredientes e submetido ao processo tecnológico adequado. O produto pode ser classificado de acordo com a tecnologia de fabricação:

- Lombo Tipo Canadense: é o produto obtido a partir do corte de carcaças de suínos denominado de lombo, em peça íntegra ou parcial, adicionado de ingredientes, embutido em envoltórios naturais e/ou artificiais, e submetido ao processo tecnológico adequado, defumado ou não.
- Lombo Cozido: é o produto obtido a partir do corte de carcaças denominado de lombo, inteiro ou em pedaços, adicionado de ingredientes, embutido em envoltórios naturais e/ou artificiais, e submetido ao processo tecnológico adequado de cozimento, defumado ou não.
- Lombo Temperado: é o produto obtido a partir do corte de carcaças denominado de lombo, inteiro ou em pedaços, adicionado de ingredientes, submetido ao processo tecnológico adequado.
- Lombo Curado Dessecado: é o produto obtido a partir do corte de carcaças denominado de lombo, adicionado de sais de cura e ingredientes, embutido ou não, e submetido ao processo tecnológico adequado, defumado ou não.
- Carré Temperado (Kassler): é o produto obtido a partir do corte de carcaças denominado de lombo com osso, inteiro ou cortado em pedaços, adicionado de ingredientes, submetido ao processo tecnológico adequado, defumado ou não.

Como denominação de venda, será designado de Lombo, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com a sua apresentação para a venda, exemplo: Lombo defumado; Lombo cozido; Lombo cozido e/ou defumado; Lombo tipo canadense defumado ou não; Lombo em cubos; Carré; Kassler; Outros. Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: lombo e sal. Como ingredientes opcionais: proteínas de origem animal e / ou vegetal; açúcares; maltodextrina; condimentos; aromas; especiarias e aditivos intencionais. Será permitida a utilização de 2% (máx.) de proteína não cárnea na forma agregada. O produto definido como Lombo deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 27 (Brasil, 2000d).

Tabela 27: Características físico-químicas do Lombo.

Características físico -químicas	**Porcentagem (%)**			
	Lombo Tipo Canadense	**Lombo Cozido**	**Lombo Curado Dessecado**	**Lombo Temperado**
Umidade (máx)	72	72	45	75
Gordura (max)	8	8	10	-
Proteína (mín)	16	16	20	16
Carboidratos totais (máximo)	1	1	1	2

Fonte: Brasil (2000d).

Bacon

A Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 748, de 8 de fevereiro de 2023, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Bacon como produto cárneo obtido da parede torácico-abdominal de suínos, que vai do esterno ao púbis, com ou sem costela, com ou sem pele, com adição de ingredientes, curado, defumado, cozido ou não. É permitido a elaboração de bacon somente da porção abdominal do suíno. É proibida a fabricação do produto a partir de matéria-prima moída ou reconstituída. A denominação de venda do produto é bacon, no caso do produto submetido ao processo de cocção, o termo cozido deverá fazer parte da denominação de venda. Os produtos obtidos de cortes íntegros de lombo, pernil ou paleta de suínos, fabricados em processo análogo ao bacon, terão denominação de venda com a indicação do corte anatômico (sem osso) de origem do produto, conforme indicado: bacon de "denominação do corte". No caso do produto submetido ao processo de cocção, o termo cozido deverá fazer parte da denominação de venda. São ingredientes obrigatórios na elaboração do bacon: barriga ou parede torácico-abdominal dos suínos, que vai do esterno ao púbis, com ou sem costela, com ou sem pele, sal (cloreto de sódio) e nitritos e nitratos e suas variações, isolados ou combinados. São ingredientes opcionais na elaboração do bacon: mono e dissacarídeos, maltodextrina, condimentos, especiarias, água, aditivos alimentares, coadjuvantes de tecnologia e sais hipossódicos. Para o bacon estável à temperatura ambiente, a atividade de água (Aw) máxima permitida será de 0,85 (Brasil, 2023).

Paleta Cozida (Tender)

A Instrução Normativa n° 6, de 15 de fevereiro de 2001, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Paleta Cozida como o produto cárneo industrializado obtido do corte correspondente do membro dianteiro dos animais de açougue (mamíferos), desossado ou não, acrescido de ingredientes e submetido ao processo tecnológico adequado. O produto pode ser classificado como cozido, defumado ou não. A expressão "Tender" empregada na identificação da Paleta Cozida, refere-se ao produto defumado. Como denominação de venda, será designado de Paleta Cozida, seguido de expressões ou denominações que o caracterizem de acordo com a sua apresentação para a venda, exemplo: Paleta Cozida de suíno; Paleta Cozida de bovino; Paleta Tender; Paleta Cozida Tender; Outras.

Com relação à composição, podem ser utilizados como ingredientes obrigatórios: carne de paleta de diferentes espécies de animais de açougue, sal, nitrito e/ou nitrato de sódio e/ou potássio. Como ingredientes opcionais: proteínas de origem animal e/ou vegetal, açúcares, maltodextrina, condimentos, aromas, especiarias e aditivos intencionais. Permite-se a adição máxima de 2% de proteínas não cárneas na forma de proteína agregada. O produto definido como Paleta Cozida deve atender às características físico-químicas descritas na Tabela 28 (Brasil, 2001).

Tabela 28: Características físico-químicas de Paleta Cozida.

Características físico -químicas	Porcentagem (%)	
	Paleta Cozida Tender	Paleta Cozida
Relação umidade/proteína (máximo)	4,2	5,2
Proteína (mínimo)*	18	14
Carboidratos (máximo)	1	2

*O teor mínimo de proteína deve ser obtido a partir do produto isento de gordura.
Fonte: Brasil, 2001.

Carne Bovina em Conserva (*Corned Beef*)

A Instrução Normativa n° 83, de 21 de novembro de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Carne Bovina em Conserva (*Corned Beef*) como o produto cárneo industrializado, obtido exclusivamente de carne bovina, curado, cozido, embalado hermeticamente, submetido à esterilização comercial e esfriado rapidamente. O produto Carne Bovina em Conserva (*Corned Beef*) poderá ser obtido sem adição de agentes de cura atendendo às exigências comerciais e legislação específica desde que não comprometa a segurança alimentar do produto final. O produto pode ser classificado como acondicionado em recipiente hermeticamente fechado, termicamente processado e comercialmente estéril. Como denominação de venda, será designado de Carne Bovina em Conserva (*Corned Beef*) ou apenas *Corned Beef* quando destinado ao mercado internacional. Com relação à composição, são utilizados como ingredientes obrigatórios: carne bovina (musculatura esquelética com gordura de constituição, inclusive recortes de desossa e porção muscular do diafragma) - mínimo 55% e cloreto de sódio. Como ingredientes opcionais: carne mecanicamente separada de bovino - até 20%, tendões, gelatina, estômago (rúmen e retículo) - até 5% isoladamente ou combinados entre si. Quando esta matéria-prima for utilizada simultaneamente com carne mecanicamente separada, o somatório fica limitado em 20%. Também podem ser utilizados carne industrial (carnes de cabeça, de sangria, da base da língua, do esôfago (porção muscular) - até 15%, coração e língua - até 5% isoladamente ou combinados entre si, tecido adiposo de cobertura in natura ou fundido, açúcares, aditivos intencionais, condimentos e especiarias. O produto definido como Carne Bovina em Conserva (*Corned Beef*) deve atender como característica físico-química possuir teor de proteína mínimo de 18% (Brasil, 2003b).

Carne moída de bovino

A Portaria da secretaria de Defesa Agropecuária Nº 664, de 30 de setembro de 2022, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define Carne Moída como o produto obtido a partir da moagem de massas musculares das espécies de animais de açougue, seguido de imediato resfriamento ou congelamento do produto. A denominação

de venda será carne moída, seguida da informação sobre a forma de sua conservação e da espécie animal da qual foi obtida. Em caso de carne moída composta por diferentes espécies, estas devem ser informadas na denominação de venda do produto. É facultativo declarar o corte utilizado para a obtenção da carne moída, quando o produto for obtido exclusivamente das massas musculares que o constituem, sua denominação será carne moída, seguida do nome do corte que constitui o produto. No caso de produto obtido da mistura de cortes de carne, é facultativo declarar os ingredientes utilizados, mas caso sejam indicados, será obrigatório informar a composição de cada corte na denominação de venda do produto. A porcentagem máxima de gordura da carne moída deverá ser informada no painel principal, próximo à denominação de venda. É ingrediente obrigatório na fabricação de carne moída, a carne obtida das massas musculares esqueléticas, conforme a espécie animal utilizada como matéria prima. A matéria-prima para fabricação de carne moída deve ser exclusivamente carne, submetida a processamento prévio de resfriamento ou congelamento. As carnes utilizadas como matéria-prima na elaboração da carne moída devem estar livres de aponeuroses, linfonodos, glândulas, cartilagens, ossos, grandes vasos, coágulos, tendões, peles e demais tecidos não considerados aptos ao consumo humano. É permitido somente o uso da gordura inerente ao corte, utilizado para a produção de carne moída. Não é permitida a obtenção de carne moída a partir de moagem de carnes oriundas da raspagem de ossos, ou obtidas de quaisquer outros processos de separação mecânica dos ossos. Não é permitida a utilização de carne industrial para a fabricação de carne moída. Não é permitida a obtenção de carne moída a partir de moagem de miúdos. (Brasil, 2022).

4. Tendências e inovações no setor

Nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais difícil não associar o consumo de produtos cárneos à saúde das pessoas. A presença de quantidades excessivas de sódio, gorduras saturadas, colesterol e aditivos sintéticos em produtos cárneos (Paglarini et al., 2018) contribui para um maior risco de doenças metabólicas, como obesidade, diabetes tipo 2 e doença cardíaca coronária (Beriain, Gómez, Ibáñez, Sarriés, & Ordóñez, 2018). Diante disso, é importante pesquisar e disseminar novas alternativas viáveis que possam reduzir ou eliminar componentes nocivos nesses produtos e, assim, apoiar a indústria com base nas demandas dos consumidores.

A crescente preocupação com dieta e saúde levou ao desenvolvimento de produtos cárneos mais saudáveis. A adição de derivados de plantas com componentes antioxidantes, incluindo vitaminas A, C e E, minerais, polifenóis, flavonoides e terpenóides em produtos cárneos pode diminuir o risco de várias doenças degenerativas. Para mudar as atitudes dos consumidores em relação ao consumo de carne, a indústria da carne está passando

por grandes transformações com a adição de ingredientes como substitutos da gordura animal, antioxidantes naturais e antimicrobianos, preferencialmente derivados de fontes vegetais (Hygreeva, Pandey, & Radhakrishna, 2014).

Redução do sal e do sódio em produtos cárneos

As propriedades associadas ao NaCl o tornam um conservante amplamente utilizado na indústria de carnes. No entanto, a crescente preocupação dos consumidores com a sua saúde e as recomendações de organismos internacionais obrigam à reformulação dos produtos cárneos, reduzindo o teor de sal e, portanto, dando origem a produtos mais saudáveis. Isso leva à busca de alternativas que permitam reduzir o teor de sal no produto sem alterar suas propriedades tecnológicas e sensoriais (Pateiro, Munekata, Cittadini, Domínguez, & Lorenzo, 2021).

O cloreto de sódio (NaCl) é de primordial importância como ingrediente de produtos cárneos, pois atua na extração das proteínas miofibrilares (actina e miosina), essenciais para a capacidade de retenção de água e gordura e formação de uma emulsão estável. Do ponto de vista tecnológico, o cloreto de potássio (KCl) é o melhor substituto do NaCl devido à similaridade da composição molecular, mas seu uso pode ser limitado devido a atributos sensoriais indesejáveis. A substituição parcial do NaCl, que interfere com a menor intensidade possível nos parâmetros tecnológicos, sensoriais e microbiológicos, é desejável, mas ainda representa um enorme desafio (Santos et al., 2021).

A principal limitação da adição de KCl é o aumento do tempo de processamento devido à maior dificuldade do KCl em penetrar no produto. Além disso, está bem documentado que o KCl pode conferir um sabor amargo, metálico e adstringente ao produto quando usado em níveis de substituição superiores a 50% de NaCl (Pedro *et al.*, 2021).

Substitutos de gordura animal em produtos cárneos

A gordura animal geralmente é adicionada em até 30% em produtos cárneos emulsionados e tem funções importantes especificamente na estabilização das emulsões, aumentando o rendimento do cozimento, proporcionando sabor, aumentando a suculência, melhorando a capacidade de retenção de água e a textura (Choi, Kim, Choi, & Han, 2019).

Nesse cenário, a substituição da gordura animal por óleos líquidos ricos em ácidos graxos insaturados tem sido considerada uma estratégia viável para alcançar produtos mais saudáveis (Alejandre, Astiasarán, Ansorena, & Barbut, 2019; Carvalho *et al.*, 2020; Stangierski, Rezler, Kawecki, & Peplińska, 2020).

Por outro lado, a incorporação de óleos líquidos na formulação de emulsionados pode provocar efeitos negativos notáveis nas características tecnológicas e de qualidade

sensorial (Bolumar, Toepfl, & Heinz, 2015), resultando em uma textura excessivamente macia e pegajosa, bem como estabilidade reduzida contra a oxidação (Falowo, Fayemi, & Muchenje, 2014).

Uma alternativa recente para o emprego dos óleos vegetais na formulação dos emulsionados é a utilização de emulsões géis (Domínguez, Munekata, Pateiro, López-Fernández, & Lorenzo, 2021). A formação do gel é uma das propriedades mais importantes das proteínas e a emulsão óleo-em-água pode ser convertida da forma líquida para a forma sólida pela formação do gel. Consequentemente, contribui para a textura desejável e estabilização da emulsão óleo em água em produtos cárneos emulsionados (Dickinson & Casanova, 1999).

Antioxidantes naturais em produtos cárneos

A segurança e a qualidade dos produtos cárneos durante o armazenamento dependem de processos microbiológicos, bioquímicos e químicos. A oxidação de lipídios, proteínas e pigmentos estão entre os fatores mais importantes no desenvolvimento de defeitos de qualidade (Tamkutė *et al.*, 2021), sendo a principal causa não microbiana da deterioração da qualidade em carnes e produtos cárneos (Ribeiro *et al.*, 2019). Vários antioxidantes sintéticos têm sido amplamente usados para reduzir as reações oxidativas e preservar os atributos sensoriais, incluindo hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA), bem como nitritos e nitratos (Shah, Bosco, & Mir, 2014). No entanto, os consumidores estão cada vez mais atentos às implicações toxicológicas dos antioxidantes sintéticos, havendo uma demanda crescente por produtos mais saudáveis, o que tem levado a indústria da carne a substituir esses compostos por antioxidantes naturais (Lorenzo et al., 2018).

A utilização de extratos vegetais naturais está se tornando uma alternativa importante no controle de mudanças oxidativas em produtos cárneos durante seu armazenamento. Esses compostos aumentam a vida útil dos alimentos aos quais são adicionados, inibindo a oxidação de lipídios, proteínas e pigmentos, preservando atributos como cor, textura, aroma, sabor e a qualidade geral do produto (Damodaran, Parkin & Fennema, 2010).

Antioxidantes naturais em filmes para produtos cárneos

Novas tecnologias na área de embalagens têm o objetivo de sua interação com o produto alimentício, no sentido de modificar ou manter parâmetros para melhorar a qualidade do produto embalado durante sua vida útil. Entre essas inovações estão embalagens ativas, que consistem na incorporação de componentes na embalagem, que libera ou absorve substâncias para alimentos embalados ou para o meio ambiente, prolongando a vida de prateleira e mantendo ou melhorando os atributos dos alimentos (López-De-Dicastillo, Gómez-Estaca, Catalá, Gavara, & Hernández-Muñoz, 2012).

No campo da embalagem de ativos antioxidantes, existem dois modos principais de ação, como emissores que liberam antioxidantes desejados nos alimentos e no ambiente ao redor dos alimentos ou como eliminadores que absorvem compostos indesejáveis como oxigênio, produtos químicos derivados de alimentos e espécies oxidantes radicais do alimento ou do ambiente (Ahmed *et al.*, 2017).

Apesar do grande interesse e da quantidade de publicações científicas que tratam de embalagens ativas, existem poucos materiais de embalagem comercialmente disponíveis. Essa falta de materiais comerciais pode ser atribuída tanto às dificuldades na produção dos materiais ativos em escala industrial, quanto à baixa eficiência da maioria dos materiais desenvolvidos em testes in vivo e à degradação dos agentes ativos nos processos de extrusão (Wrona, Nerín, Alfonso, & Caballero, 2017).

Antioxidantes encapsulados incorporados em produtos cárneos

Uma das tecnologias multicomponentes promissoras que podem ser aplicadas para proteger os ingredientes ativos durante a produção da embalagem é o encapsulamento. O encapsulamento envolve o isolamento de um composto de seu ambiente externo, prendendo-o em um material adicional, que tem uma função protetora. Desta forma, os compostos ativos podem ser incorporados ao material fundido e extrudados sem comprometer sua qualidade. Muitos trabalhos sobre encapsulamento aplicado diretamente em produtos alimentícios, processamento e produção já podem ser encontrados na literatura científica (Nedovic, Kalusevic, Manojlovic, Levic, & Bugarski, 2011; Radünz et al., 2020; Smaoui et al., 2021)

Atualmente, interesse excepcional foi encontrado na nanoencapsulação para agentes bioativos devido às suas características únicas em termos de alta aptidão de carregamento e eficácia de encapsulação, biodisponibilidade melhorada e estabilidade, faculdade de liberação sustentada e capacidade de mascarar cheiro forte indesejável e sabor estranho (Wang, Jung, & Zhao, 2017).

A**ntimicrobianos em produtos cárneos**

Uma grande variedade de agentes antimicrobianos naturais, incluindo óleos essenciais, ácidos orgânicos, peptídeos antimicrobianos, enzimas e alguns biopolímeros, como a quitosana, têm sido usados para prevenir o crescimento de microrganismos de deterioração de alimentos e patógenos de origem alimentar (Bahrami, Delshadi, Jafari, & Williams, 2019).

Existem duas maneiras principais de usar antimicrobianos naturais como conservantes, incluindo adicioná-los diretamente na formulação do alimento ou, sua adição na estrutura da embalagem ou materiais de revestimento, conhecido como embalagem ativa (Hosseini, Tajiani, & Jafari, 2019). Em ambas as técnicas, os agentes funcionais dos antimicrobianos

naturais estão impedindo o crescimento de microrganismos. No entanto, esses compostos são sensíveis a condições adversas de processamento e armazenamento, como alta temperatura, o que pode diminuir significativamente sua eficiência antimicrobiana. Além disso, a forma livre dos antimicrobianos tem liberação descontrolada e a maioria deles é liberada nos primeiros dias de armazenamento, o que diminui ainda mais seu desempenho e resulta na aplicação de uma dose muito elevada deles (Babazadeh, Tabibiazar, Hamishehkar, & Shi, 2019).

Entre os principais antimicrobianos naturais utilizados em carnes e produtos cárneos, os óleos essenciais são os mais usados. Eles são misturas complexas de compostos de baixo peso molecular sintetizados por plantas que possuem propriedades antimicrobianas. Em geral, sua atividade antimicrobiana está relacionada à interação de alguns metabólitos secundários presentes nos óleos essenciais com a estrutura celular bacteriana. Os metabólitos presentes em óleos essenciais incluem principalmente terpenos, terpenóides, fenilpropanóides, aldeídos, ésteres, álcoois e cetonas, cuja bioatividade varia dependendo da configuração estrutural da molécula (Tohidi, Rahimmalek, & Trindade, 2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Existem diversos trabalhos científicos que abordam sobre os efeitos positivos da redução do consumo de carne no meio ambiente, na saúde humana e no bem-estar animal. No entanto, nos países em desenvolvimento, a demanda por carne está aumentando, enquanto nos países de alta renda o consumo de carne permanece em níveis elevados. Embora muitos dos consumidores não estejam dispostos a cortar o consumo de carne, é possível observar que uma fração é receptiva a limitar seu consumo.

Diante desse contexto, os produtos análogos de carne, ou à base de plantas que simulam as propriedades dos produtos tradicionais à base de carne, garantiram uma posição na conversa sobre alimentos proteicos. O rápido crescimento da indústria de produtos análogos de carne está ocorrendo no mercado global de alimentos, tanto no varejo quanto nos setores de serviços alimentícios.

Além dessa, surgiram formas alternativas de fontes proteicas, como por exemplo a carne de base celular, que é a carne cultivada a partir de células animais por meio de processos e equipamentos específicos. Essa carne cultivada, portanto, não depende da produção animal da fazenda e pode levar a transformações significativas na cadeia da carne convencional. Grandes multinacionais de processamento de carnes de países desenvolvidos estão investindo nesta tecnologia. À medida que os investimentos aumentam em ritmo acelerado, é esperado que os produtos de carne à base de células cheguem gradualmente aos mercados nos próximos anos. Além disso, que os produtos cárneos de base celular sejam itens relativamente caros no início, no entanto, é provável que se tornem mais acessíveis com o tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Indústrias de Alimentos. Relatório de faturamento líquido de impostos indiretos do ano de 2019. Recuperado em 13 de julho, 2021 de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.abia.org.br%2Fvsn%2Fanexos%2Ffaturamento2019.pdf&clen=92518&chunk=true.

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., Pavase, T. R., & Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. Food Control, 82, 163–178.

Alejandre, M., Astiasarán, I., Ansorena, D., & Barbut, S. (2019). Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters. Food Research International, 122, 129–136.

Babazadeh, A., Tabibiazar, M., Hamishehkar, H., & Shi, B. (2019). Zein-CMC-PEG multiple nanocolloidal systems as a novel approach for nutra-pharmaceutical applications. Advanced Pharmaceutical Bulletin, 9(2), 262–270.

Bahrami, A., Delshadi, R., Jafari, S. M., & Williams, L. (2019). Nanoencapsulated nisin: An engineered natural antimicrobial system for the food industry. Trends in Food Science and Technology, 94, 20–31.

Beriain, M. J., Gómez, I., Ibáñez, F. C., Sarriés, M. V., & Ordóñez, A. I. (2018). Improvement of the functional and healthy properties of meat products. Food Quality: Balancing Health and Disease, 13, 1–74.

Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. Food Science and Human Wellness, 8(4), 320–329.

Bolumar, T., Toepfl, S., & Heinz, V. (2015). Fat reduction and replacement in dry-cured fermented sausage by using high pressure processing meat as fat replacer and olive oil. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 65(3), 175–182.

Brasil (2023). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 765, de 06 de abril de 2023. Aprova os Requisitos Técnicos de Identidade e Qualidade do presunto cozido, presunto cozido superior, presunto cozido tenro e do presunto cozido de aves. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-765-de-6-de-abril-de-2023-477630109

Brasil (2023). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 748, de 08 de fevereiro de 2023. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do bacon. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-748-de-8-de-fevereiro-de-2023-463362936

Brasil (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 724, de 23 de dezembro de 2022. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do hambúrguer. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-724-de-23-de-dezembro-de-2022-453548742

Brasil (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 706, de 28 de novembro de 2022. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do fiambre. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-706-de-28-de-novembro-de-2022-447011744

Brasil (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 701, de 17 de novembro de 2022. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do apresuntado. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-701-de-17-de-novembro-de-2022-444937715

Brasil (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria da Secretaria de Defesa Agropecuária Nº 664, de 30 de setembro de 2022. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de carne moída. Recuperado em 05 de maio, 2023 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-sda-n-664-de-30-de-setembro-de-2022-433278402

Brasil (2020a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 22, de 28 de abril de 2020. Altera o anexo I da Instrução Normativa n° 4, de 31 de março de 2000. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-22-de-28-de-abril-de-2020-254680845

Brasil (2020b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 92, de 18 de setembro de 2020. Dispõe sobre a identidade e os requisitos de qualidade do charque, da carne salgada curada dessecada, do miúdo salgado dessecado e do miúdo salgado curado dessecado. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-92-de-18-de-setembro-de-2020-278692460

Brasil (2019a). Ministério da Saúde. Resolução de Diretoria Colegiada Nº 272, de 14 de março de 2019. Estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/67378977/do1-2019-03-18-resolucao-da-diretoria-colegiada-rdc-n-272-de-14-de-marco-de-2019-67378770

Brasil (2019b). Ministério da Saúde. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-60-de-23-de-dezembro-de-2019-235332356

Brasil (2019c). Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 331, de 23 de dezembro de 2019. Dispõe sobre os padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-331-de-23-de-dezembro-de-2019-235332272

Brasil (2018). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 17, de 29 de maio de 2018. Aprova o regulamento técnico sobre a identidade e requisitos de qualidade que deve atender o produto cárneo temperado. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/16742430/do1-2018-06-01-instrucao-normativa-n-17-de-29-de-maio-de-2018-16742426

Brasil (2017a). Atos do Poder Executivo. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20134722/do1-2017-03-30-decreto-n-9-013-de-29-de-marco-de-2017-20134698

Brasil (2017b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 33, de 05 de setembro de 2017. Altera o subitem 4.1.2. do anexo III da Instrução Normativa nº 4 de 31 de março de 2000. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19295260/UCEQlTzKXPyVi6cWuD3q0ksQ

Brasil (2011a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 13 de outubro de 2011. Altera a redação dos açúcares totais constante do subitem 4.2.2 do Anexo II e acrescenta no subitem 4.2.2 do anexo III da Instrução Normativa no 20, de 31 de julho de 2000. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=14/10/2011&jornal=1&pagina=2&totalArquivos=168

Brasil (2011b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 36, de 13 de outubro de 2011. Altera a redação dos açúcares totais constante dos subitens 4.2.2 dos anexos II e IV da Instrução Normativa no 4, de 31 de julho de 2000. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=14/10/2011&jornal=1&pagina=2&totalArquivos=168

Brasil (2005). Ministério da Saúde. Resolução de Diretoria Colegiada Nº 276, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-276-de-22-de-setembro-de-2005.pdf/view

Brasil (2003a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 55, de 07 de julho de 2003. Altera o subitem nº 4.2.2, dos anexos V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII e XIII, da Instrução Normativa nº 22, de 31 de julho de 2000. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/07/2003&jornal=1&pagina=28&totalArquivos=116

Brasil (2003b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 83, de 21 de novembro de 2003. Aprovar os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de carne bovina em conserva (corned beef) e carne moída de bovino. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/12/2003&jornal=1&pagina=13&totalArquivos=124

Brasil (2001). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 6, de 15 de fevereiro de 2001. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de paleta cozida, de produtos cárneos salgados, de empanados, de presunto tipo serrano e de prato elaborado pronto ou semipronto contendo produtos de origem animal. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=19/02/2001&jornal=1&pagina=180&totalArquivos=192

Brasil (2000a). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de carne mecanicamente separada, de mortadela, de linguiça e de salsicha. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/04/2000&jornal=1&pagina=54&totalArquivos=73

Brasil (2000b). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 20, de 31 de julho de 2000. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de almôndega, de apresuntado, de fiambre, de hamburguer, de kibe, de presunto cozido e de presunto. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/08/2000&jornal=1&pagina=55&totalArquivos=88

Brasil (2000c). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 22, de 31 de julho de 2000. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de copa, presunto tipo parma, presunto cru, salame, salaminho, salame tipo alemão, salame tipo calabrês, salame tipo friolano, salame tipo napolitano, salame tipo hamburgues, salame tipo italiano, salame tipo milano, de linguiça colonial e pepperoni. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/08/2000&jornal=1&pagina=63&totalArquivos=88

Brasil (2000d). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 21, de 31 de julho de 2000. Aprova os regulamentos técnicos de identidade e qualidade de patê, bacon ou barriga defumada e lombo suíno. Recuperado em 13 de julho, 2021 de https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/08/2000&jornal=1&pagina=60&totalArquivos=88

Carvalho, F. A. L., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Campagnol, P. C. B., Domínguez, R., Trindade, M. A., & Lorenzo, J. M. (2020). Effect of replacing backfat with vegetable oils during the shelf-life of cooked lamb sausages. LWT, 122, 109052.

Choi, J., Kim, N., Choi, H. Y., & Han, Y. S. (2019). Effect of cacao bean husk powder on the quality properties of pork sausages. Food Science of Animal Resources, 39(5), 742–755.

Dagevos, H. (2021). Finding flexitarians: Current studies on meat eaters and meat reducers. Trends in Food Science & Technology, 114, 530–539.

Daudin, J. D., Sharedeh, D., Favier, R., Portanguen, S., Auberger, J. M., & Kondjoyan, A. (2016). Design of a new laboratory tumbling simulator for chunked meat: Analysis, reproduction and measurement of mechanical treatment. Journal of Food Engineering, 170, 83–91.

Dickinson, E., & Casanova, H. (1999). A thermoreversible emulsion gel based on sodium caseinate. Food Hydrocolloids, 13(4), 285–289.

Domínguez, R., Munekata, P. E., Pateiro, M., López-Fernández, O., & Lorenzo, J. M. (2021). Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. Current Opinion in Food Science, 37, 135-144.

Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. Food Research International, 64, 171–181.

Food and Agriculture Organization. Animal production and health. Recuperado em 12 de março, 2019 de www.fao.org

Gargi, A., & Sengun, I. Y. (2021). Marination liquids enriched with probiotics and their inactivation effects against food-borne pathogens inoculated on meat. Meat Science, 182, 108624.

Hosseini, H., Tajiani, Z., & Jafari, S. M. (2019). Improving the shelf-life of food products by nano/micro-encapsulated ingredients. Food Quality and Shelf Life, 159–200.

Hygreeva, D., Pandey, M. C., & Radhakrishna, K. (2014). Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. Meat Science, 98(1), 47–57.

Judge, M. D., Aberle, E. D., Forrest, J. C., Hedrick, H. B., Merkel, R. A. (1989). Principles of Meat Science (2a ed.). Dubuque: Kendall Hunt.

Latoch, A. (2020). Effect of meat marinating in kefir, yoghurt and buttermilk on the texture and color of pork steaks cooked sous-vide. Annals of Agricultural Sciences, 65(2), 129–136.

Lawrie, R. A. (1985). Meat Science (4a ed.). New York : Pergamon Press.

Lingbeck, J. M., Cordero, P., O'bryan, C. A., Johnson, M. G.; Ricke, S. C., Crandall, P. G. (2014). Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation. Meat Science, 97, 197–206.

López-De-Dicastillo, C., Gómez-Estaca, J., Catalá, R., Gavara, R., & Hernández-Muñoz, P. (2012). Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. Food Chemistry, 131(4), 1376–1384.

Lorenzo, J. M., Vargas, F. C., Strozzi, I., Pateiro, M., Furtado, M. M., Sant'Ana, A. S., Rocchetti, G., Barba, F. J., Dominguez, R., Lucini, L., & do Amaral Sobral, P. J. (2018). Influence of pitanga leaf extracts on lipid and protein oxidation of pork burger during shelf-life. Food Research International, 114, 47–54.

Mirade, P. S., Portanguen, S., Sicard, J., De Souza, J., Musavu Ndob, A., Hoffman, L. C., Goli, T., & Collignan, A. (2020). Impact of tumbling operating parameters on salt, water and acetic acid transfers during biltong-type meat processing. Journal of Food Engineering, 265, 109686.

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. Procedia Food Science, 1, 1806–1815.

Paglarini, C. de S., Furtado, G. de F., Biachi, J. P., Vidal, V. A. S., Martini, S., Forte, M. B. S., Cunha, R. L., & Pollonio, M. A. R. (2018). Functional emulsion gels with potential application in meat products. Journal of Food Engineering, 222, 29–37.

Pardi, M. C.; Santos, I. F; Souza, E.R.; Pardi, H.S. (1996). Ciência, Higiene e Tecnologia da Carne. Goiânia: Editora da UFG.

Pateiro, M., Munekata, P. E., Cittadini, A., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2021). Metallic-based salt substitutes to reduce sodium content in meat products. Current Opinion in Food Science, 38, 21–31.

Pedro, D., Saldaña, E., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Dominguez, R., dos Santos, B. A., Cichoski, A. J., & Campagnol, P. C. B. (2021). Low-sodium dry-cured rabbit leg: A novel meat product with healthier properties. Meat Science, 173, 108372.

Radünz, M., dos Santos Hackbart, H. C., Camargo, T. M., Nunes, C. F. P., de Barros, F. A. P., Dal Magro, J., Filho, P. J. S., Gandra, E. A., Radünz, A. L., & da Rosa Zavareze, E. (2020). Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (Thymus vulgaris) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. International Journal of Food Microbiology, 330, 108696.

Reis, G. G., Heidemann, M. S., Borini, F. M., & Molento, C. F. M. (2020). Livestock value chain in transition: Cultivated (cell-based) meat and the need for breakthrough capabilities. Technology in Society, 62, 101286.

Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., & da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. Meat Science, 148, 181–188.

Roça, R. Tecnologia de carnes e derivados: apostila técnica. São Paulo: Universidade Estadual de São Paulo.

Rodrigues, F. A. (1978). Tecnologia dos produtos cárneos. Campinas: Centro de tecnologia da carne - ITAL.

Santos, E. A., Ribeiro, A. E. C., Oliveira, A. R., Monteiro, M. L. G., Máralém, E. T., Morgano, M., Caliari, M., & Soares Júnior, M. S. (2021). Sodium reduction in “spam-like” product elaborated with mechanically separated tilapia meat. LWT, 148, 111676.

Shah, M. A., Bosco, S. J. D., & Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. Meat Science, 98(1), 21–33.

Smaoui, S., Ben Hlima, H., Ben Braïek, O., Ennouri, K., Mellouli, L., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. Meat Science, 181, 108585.

Stangierski, J., Rezler, R., Kawecki, K., & Peplińska, B. (2020). Effect of microencapsulated fish oil powder on selected quality characteristics of chicken sausages. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(5), 2043–2051.

Stephens, N., Di Silvio, L., Dunsford, I., Ellis, M., Glencross, A., & Sexton, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. Trends in Food Science and Technology, 78, 155–166.

Tamkutė, L., Vaicekauskaitė, R., Melero, B., Jaime, I., Rovira, J., & Venskutonis, P. R. (2021). Effects of chokeberry extract isolated with pressurized ethanol from defatted pomace on oxidative stability, quality and sensory characteristics of pork meat products. LWT, 150, 111943.

Terra, N. (2000). Apontamento sobre Tecnologia de Carnes. São Leopoldo: Editora Unisinos.

Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Trindade, H. (2019). Review on essential oil, extracts composition, molecular and phytochemical properties of Thymus species in Iran. Industrial Crops and Products, 134, 89–99.

United States Departament of Agriculture. Production, supply and distribution. Recuperado em 13 de julho, 2021 de www.fas.usda.gov.

Vodyanova, I. V., Storrø, I., Olsen, A., & Rustad, T. (2012). Mathematical modelling of mixing of salt in minced meat by bowl-cutter. Journal of Food Engineering, 112 (3), 144-151.

Wang, W., Jung, J., & Zhao, Y. (2017). Chitosan-cellulose nanocrystal microencapsulation to improve encapsulation efficiency and stability of entrapped fruit anthocyanins. Carbohydrate Polymers, 157, 1246–1253.

Wrona, M., Nerín, C., Alfonso, M. J., & Caballero, M. Á. (2017). Antioxidant packaging with encapsulated green tea for fresh minced meat. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 41, 307–313.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.006

CAPÍTULO 6

USO DE PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS PARA A PRODUÇÃO DE INGREDIENTES

Kele Aparecida Costa Vespermann[1, 2],
Bianca Marise Pereira e Silveira[1,3], Patrícia N. Santos[1],
Gustavo Molina[1,*]

Resumo

A indústria de alimentos está em crescente evolução e adequação às tendências impostas pelos consumidores, órgãos regulatórios e instituições civis. Neste sentido, têm-se verificado uma crescente preocupação pela manutenção de hábitos de vida saudáveis, com dietas nutritivas e cada vez mais voltadas ao consumo de produtos naturais. Dados esses fatos, tem sido desafiador atender aos anseios dos consumidores, manter uma economia em expansão e impactar menos o meio ambiente para tais objetivos. Diante disso, o setor biotecnológico tem avançado na pesquisa, desenvolvimento e fornecimento de bio-moléculas que possam ser naturais, gerar resultados econômicos, contribuir para aspectos tecnológicos, sensoriais e nutricionais de gêneros alimentícios, buscando ainda minimizar os impactos ambientais que seus processos produtivos possam vir a causar. Assim sendo, o presente capítulo traz um breve resumo de algumas das principais biomoléculas utilizadas na indústria alimentícia, com enfoque na produção e aplicação de polissacarídeos e lipídios microbianos, bem como as suas vantagens frente a compostos similares obtidos por extração da natureza.

Palavras-chaves: Biotecnologia; Polissacarídeos; Lipídios Microbianos.

[1]Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, ICT/UFVJM
[2]Agente Local de Inovação, SEBRAE/CNPQ
[3]Departamento de Alimentos, Faculdade de Farmácia, UFMG
*email: gustavo.molina@ict.ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia busca por produtos economicamente viáveis e que sejam seguros e atraentes ao consumidor, em decorrência da alta competitividade do setor. Com isso, inovações e desenvolvimento de produtos com características sensoriais interessantes ao mercado são alternativas para ampliar e destacar o segmento, como os estímulos sensoriais associados aos sabores e texturas destes produtos (Kırtel et al., 2017; Mccrickerd & Forde, 2016; Stephen et al., 2006).

Associada à comercialização desses produtos, cabe destacar a crescente preocupação do consumidor em adquirir hábitos de vida mais saudáveis, que incluem dietas saudáveis e nutritivas. Assim seguir a tendência de transformar a alimentação humana em direção a hábitos de consumo saudável e garantir a sustentabilidade econômica e ambiental tem constituído um dos maiores desafios da atualidade (Webb et al., 2020)

Diante desse desafio, a biotecnologia industrial emerge como alternativa para o fornecimento de alimentos nutritivos, seguros, saudáveis, além de materiais inovadores, ao mesmo tempo em que pode poupar recursos naturais, ganhar independência sazonal e geográfica e reduzir o desperdício (Rischer et al., 2020).

A biotecnologia é um campo de destaque no que tange a pesquisa e inovação, uma vez que possibilita um amplo espectro de possibilidades em diferentes setores econômicos para aprimorar a qualidade de produtos, otimizar processos produtivos, reduzir custos e melhorar a qualidade de vida (Florêncio et al., 2020). Neste âmbito, cabe citar um levantamento do número de patentes depositadas na área de biotecnologia no Brasil no período de 2007-2016, onde destacam-se os setores de biotecnologia da saúde (53%) e biotecnologia industrial (32%), neste último ressalta-se o enfoque na tecnologia de alimentos com 23% dos depósitos (Florêncio et al., 2020), mostrando a diversidade de setores e a importância do desenvolvimento biotecnológico na indústria alimentícia.

Para além da inovação, no setor alimentício, a biotecnologia já é presente em uma diversidade de produtos fermentados de consumo habitual, como bebidas alcoólicas fermentadas (vinho, cerveja, dentro outros), produtos lácteos (queijos e iogurtes), pães, conservas vegetais, dentre outros desde 1300 a.C. O uso da fermentação na produção de alimentos traz então uma série de benefícios primários como modificação de textura, sabor, aroma, aumento da vida de prateleira, além de benefícios nutricionais e de saúde em função da presença de vitaminas, ácidos orgânicos, pré- e probióticos, dentre outros (Galimberti et al., 2021). Além disso, os processos biotecnológicos industriais fornecem não apenas produtos alimentícios complexos, mas uma série de biomoléculas e compostos que são utilizados como suplementos alimentares, aditivos e ingredientes da indústria alimentícia, como por exemplo: vitaminas, ácidos orgânicos, polissacarídeos, lipídios microbianos, enzimas e surfactantes.

Dentre esses compostos, cabe destacar dois com aplicações mercadológicas distintas, mas igualmente importantes: polissacarídeos microbianos (tais como goma xantana, curdlana e dextrana) e lipídios microbianos (como ácido linolênico, ácido araquidônico e ácido eicosopentanoico). O primeiro deles, os polissacarídeos microbianos, são moléculas amplamente utilizadas pela indústria de alimentos como aditivos, atuando especialmente no melhoramento de propriedades de textura como agentes emulsificantes, estabilizantes, gelificantes ou para o controle da viscosidade destes (Philp 2018; Ramalingam et al., 2014). Por outro lado, os lipídios microbianos, especialmente os de cadeia poli-insaturada, adentram na indústria alimentícia com um forte apelo nutricional, em função do papel que exercem no metabolismo humano. Neste sentido, o presente capítulo busca abordar de forma sintética, o potencial de mercado de algumas biomoléculas, e mais detalhadamente trata da produção e aplicabilidade de polissacarídeos e lipídios microbianos, duas biomoléculas produzidas através de processos biotecnológicos e de grande relevância comercial.

1. Produtos bioativos e de relevância comercial

Os compostos bioativos têm a capacidade de interagir com um ou mais componentes da célula viva, fornecendo uma variedade de propriedades potenciais. Podem ser derivados de plantas, animais ou por microrganismos, e são "geralmente considerados seguros" (GRAS) para serem utilizados como aditivos alimentares. Desta forma, as definições e aplicações de alguns compostos de interesse para o setor alimentício serão abordadas de forma resumida no texto que segue.

a. Enzimas

As enzimas são biomoléculas que apresentam alta atividade em condições ambientais e seletividade aprimorada, bem como têm a capacidade de aumentar a taxa de reações químicas sem serem consumidas. A enzima tem um (ou vários) sítio ativo, constituído por uma área em que a ação catalítica (conversão do substrato em produto) é realizada. O sítio ativo pode exibir uma estrutura de fenda ou de cova profunda, onde estão presentes resíduos de aminoácidos, coenzimas e íons ativadores. A realização da ação catalítica ocorre quando o substrato se acomoda no sítio ativo, em posição onde os grupos químicos do centro ativo atuam sobre suas ligações químicas. Uma reconformação estrutural da enzima pode ocorrer, com intuito de promover a formação do complexo enzima-substrato, e consequentemente, a formação do produto e a regeneração da enzima (Katsimpouras; Stephanopoulos, 2021; Fasim; More; More, 2021; Dala-Paula et al., 2021).

Considerando seu alto poder catalítico e especificidade excepcionais sob condições suaves, tornam-se compostos atrativos para serem aplicadas em vários processos. Desse modo, as enzimas são muito utilizadas em escala comercial, nos setores farmacêutico, química fina, têxtil, couro, cosméticos, tratamento de resíduos, produção de biocombustíveis, e principalmente no setor alimentício, onde exercem um papel essencial na produção de vários produtos alimentícios, como cerveja, panificação, laticínios, processamento de vegetais e frutas, óleos e gordura. Ressalta-se que são utilizadas com a finalidade de atuar sobre o melhoramento dos componentes aromáticos, estruturais e propriedades de textura de produtos alimentícios (Rastogi; Bhatia, 2019; Galano et al., 2021; Dala-Paula et al., 2021). Importante destacar que a maioria das enzimas usadas atualmente no processamento de alimentos é oriunda de microrganismos que foram aprimorados por técnicas clássicas ou modernas de biotecnologia (Galano et al., 2021; Katsimpouras; Stephanopoulos, 2021; Fasim; More; More, 2021).

A produção de enzimas pode ocorrer tanto extracelularmente como intracelularmente, entretanto, as enzimas extracelulares são mais vantajosas, em decorrência da facilidade de purificação e recuperação. Cabe citar que linhagens de *Aspergillus, Bacillus, Kluyveromyces, Streptomyces* e *Trichoderma* são os microrganismos mais utilizados na síntese desses

compostos e podem gerar cerca de 50 g/L de enzimas extracelulares. Ressalta-se que a seleção adequada da cepa é importantíssima para alcançar produções industrialmente interessantes, porém somente tal método não garante uma produção máxima. Outros fatores que também influenciam o processo fermentativo devem ser observados, tais como o tipo de fermentação, temperatura do processo, pH do meio, a fonte de nutrientes fornecida e o tempo de fermentação. Desta forma, a otimização de tais condições, aliada à seleção de uma linhagem adequada pode ser determinante para tornar a produção industrialmente viável (Tarafdar et al., 2021; Fasim; More; More, 2021).

A demanda global de enzimas industriais segue uma tendência de crescimento, com previsão de chegar em US$7 bilhões em 2023 (Fasim; More; More, 2021). No que tange ao tipo de biocatalisador utilizado, as enzimas microbianas são mais frequentes (fungos (60%), bactérias (24%), leveduras (4%) e fontes vegetais e animais (10%) por apresentarem vantagens como: alto rendimento, reprodutibilidade, produção econômica, crescimento exponencial, utilização de meios baratos e otimização facilitada. Ressalta-se, ainda, que existe uma rica biodiversidade de microrganismos que poderiam ser explorados para obtenção de novas enzimas (Fasim; More; More, 2021; Gopalan; Nampoothiri, 2016; Katsimpouras; Stephanopoulos, 2021; Vachher et al., 2021).

Dentre as enzimas produzidas em escala industrial, aproximadamente 75% são hidrolases (protease, lipase, amilase, celulases) e as principais empresas produtoras são: *Novozymes, Dupont, DSM* e *Roche.* Dentre as hidrolases, as proteases representam aproximadamente 60% das enzimas do mercado global, as quais são muito utilizadas na indústria de laticínios para a fabricação de queijos, desestabilizando as micelas de caseína e estimulando a coagulação do leite (Wehaidy et al., 2020). Também são amplamente utilizadas para reduzir o tempo de mistura, o consumo de massa, a consistência e uniformidade, bem como regular a força do glúten e melhorar a textura e o sabor do pão (Raveendran et al., 2018).

Diante disso, as enzimas são consideradas alternativas verdes a catalisadores químicos, devido à cinética eficiente, benefícios econômicos e ambientais, além de seu relevante papel tecnológico. Por outro lado, enzimas naturais não suportam condições adversas, tornando os bioprocessos ineficientes, requerendo dessa forma o uso de estratégias como métodos computacionais e bioengenharia, por exemplo, que auxiliam no melhoramento das propriedades da enzima, tais como: eficiência cinética, termoestabilidade, maior tolerância a pH e solventes orgânicos, remoção de regulação alostérica, maior especificidade enzima-substrato, e ampla faixa de substrato. De modo a tornar esses processos mais interessantes, matérias-primas excedentes, como os resíduos agroindustriais podem ainda ser utilizados para sua síntese (Fasim; More; More, 2021; Planas-Iglesias et al., 2021; Vachher et al., 2021; Parayil; Santos, 2021).

Para mais, métodos convencionais que combinam procedimentos de microbiologia padrão com sequenciamento do genoma e proteômica têm ajudado na triagem e identificação de milhares de enzimas de diversos microrganismos. Assim como, o uso de engenharia genética tem se tornado uma ferramenta importante no melhoramento de linhagens para

que se alcancem produções viáveis, econômicas e escalável industrialmente, tanto no que tange ao volume quanto à qualidade das enzimas (Fasim; More; More, 2021; Planas-Iglesias et al., 2021; Vachher et al., 2021; Parayil; Santos, 2021).

b. Surfactantes

Os surfactantes, comumente conhecidos como agentes tensoativos, são considerados compostos anfipáticos com duas porções distintas, as hidrofílicas e as hidrofóbicas. Consequentemente, tal características faz com que os surfactantes reduzam a tensão superficial entre duas fases imiscíveis, como interfaces óleo/água ou ar/água. Ressalta-se ainda que a porção não polar é basicamente uma cadeia de hidrocarboneto, ao passo que a porção polar (cabeça hidrofílica) pode ser iônica (catiônica ou aniônica), não iônica ou anfotérica (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021; Unal et al., 2021; Biswas; Pal, 2021).

A eficiência do surfactante é verificada em relação a sua capacidade de reduzir a tensão superficial, ou seja, a energia mecânica necessária para gerar uma nova área unitária de uma superfície líquida. Eles elevam a solubilidade aquosa de moléculas hidrofóbicas, o que consequentemente reduz a tensão superficial/interfacial de compostos com diferentes graus de polaridade. Desse modo, cita-se por exemplo, que surfactantes bons podem reduzir a tensão superficial da água de 72 mN/m para 35 mN/m e a tensão interfacial (tensão entre líquidos polares e apolares) da água e n-hexadecano de 40 mN/m para 1 mN/m (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021; Unal et al., 2021; Biswas; Pal, 2021).

Ressalta-se ainda que a tensão superficial também diminui com o aumento da concentração de surfactante no meio aquoso até a formação de micelas, as quais são estruturas agregadas com a porção hidrofílica posicionada para fora da molécula e a porção hidrofóbica para dentro. A Concentração Micelar Crítica (CMC) é atingida quando a concentração do surfactante atinge a menor tensão superficial estável, a saber, a concentração mínima de surfactante necessária para alcançar a redução máxima da tensão superficial (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021).

Os surfactantes podem ser produzidos por duas fontes principais, a petroquímica e renovável. A primeira, ocorre a partir do craqueamento do petróleo, de onde se obtém hidrocarbonetos insaturados de cadeia curta, e consequentemente possibilita a obtenção de estruturas hidrofóbicas através da polimerização dos alquenos, como etileno ou propileno, e por fim, origina-se os surfactantes com cadeias de carbono C9 a C18. Em contrapartida, os surfactantes de origem natural são produzidos por síntese a partir de organismos vivos, como por exemplo, saponinas por plantas, sais biliares por animais e glicolipídios por microrganismos. Estes últimos são denominados biossurfactantes, os quais são produzidos principalmente por microrganismos aeróbios em meio aquoso juntamente com uma fonte de carbono (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021; Almeida et al., 2016; Silva et al., 2014).

Os biossurfactantes podem apresentar baixa massa molecular (glicolipídios, lipopeptídios e fosfolipídios), sendo capazes de reduzir eficientemente as tensões superficiais e

interfaciais, bem como alta massa molecular (poliméricos e particulados), em que são eficazes como agentes estabilizadores de emulsão. Tais compostos, com diferentes estruturas moleculares podem ser produzidos por uma gama de microrganismos, como bactérias, leveduras e fungos filamentosos, onde se destacam: *Bacillus subtilis, Pseudomonas aeruginosa, Acinetobacter calcoaceticus, Candida lipolytica* e *Starmerella (Candida) bombicola* (Farias et al., 2021; Almeida et al., 2016; Silva et al., 2014).

Nesse sentido, o mercado global previsto de biossurfactantes ultrapassará US$ 5,52 bilhões em 2022, com uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) estimada em 5,6% de 2017 a 2022. Destacando-se como principais produtoras desses compostos as empresas *Jeneil Biotechnology, Ecover, Soliance, Saraya, MG Intobio* e *AGAE Technologies* (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021; Fenton et al., 2021).

Cabe ressaltar que o crescimento da demanda global por esses compostos pode estar associado também às suas vantagens em relação aos tensoativos químicos, tais como: biodegradabilidade; compatibilidade ambiental; baixa toxicidade; alta seletividade devido à presença de grupos funcionais específicos; e atividade sob condições de temperaturas extremas, pH e salinidade. Considerando as vantagens supracitadas, podem ser aplicados em diversas áreas, tais como: cosmética, farmacêutica, tintas, têxteis, detergentes, higiene pessoal e principalmente na indústria alimentícia (Farias et al., 2021; De Luca; Autilio, 2021; Almeida et al., 2016; Silva et al., 2014).

Na indústria alimentícia, os biossurfactantes são utilizados para diminuir a tensão superficial e interfacial; para formação e estabilização de emulsões; para a dispersão de substâncias imiscíveis e solubilização de aromas; alteração de características reológicas; bem como no aumento da estabilidade da massa; volume, textura, melhoria da retenção de água e conservação de produtos de panificação (Farias et al., 2021; Markande; Patel; Varjani, 2021; Adetunji; Olaniran, 2021; Gudiña; Rodrigues, 2019).

Desse modo, ressalta-se que um dos maiores desafios para ampla utilização de biossurfactantes nas indústrias é o seu alto custo. Considerando que o preço médio dos surfactantes sintéticos varia de um a quatro dólares por quilograma, ao passo que os biossurfactantes considerados mais viáveis, chegam a custar aproximadamente US$34 por quilograma. Este fato está relacionado principalmente com os fatores de produção, baixos rendimentos, tempos de síntese prolongados, maiores custos de purificação, requisitos de energia para esterilização e manutenção de cultura biológica, entre outros (Farias et al., 2021; Gudiña; Rodrigues, 2019; Fenton et al., 2021). Nesse contexto, muitas pesquisas do setor têm-se centrado em estratégias de redução os custos, como por exemplo o beneficiamento de resíduos agroindustriais como substrato para o processo fermentativo (Farias et al., 2021; Fenton et al., 2021; Gudiña; Rodrigues, 2019).

c. Vitaminas

As vitaminas são compostos orgânicos que em pequenas quantidades são essenciais para manutenção e crescimento de organismos vivos. As quais são consideradas altamente necessárias para o corpo humano, pois trazem benefícios nutricionais, fisiológicos e terapêuticos. Desta forma, as vitaminas apresentam aplicabilidade em larga escala nos setores de alimentos, cosméticos, químico e farmacêutico (Ribeiro; Estevinho; Rocha, 2021; Stahmann, 2019).

No que tange à sua estrutura, as vitaminas podem ser consideradas "solúveis em água" (hidrossolúveis) ou "solúveis em gordura" (lipossolúveis), dependendo da forma como ela é absorvida, armazenada e removida do corpo. As lipossolúveis (ex.: A, D, E e K) são solúveis em óleos e apresentam características fisiológicas variadas e complexas, desempenhando importantes papéis no sistema imunológico, muscular, reprodutivo, função cardíaca, coagulação sanguínea, e saúde ocular. Quando ingeridas, as vitaminas lipossolúveis chegam ao intestino delgado, onde cruzam as paredes celulares e entram na circulação geral do corpo, sendo posteriormente armazenadas no fígado, até serem solicitadas pelo organismo (Stahmann, 2019).

As vitaminas lipossolúveis ficam armazenadas no organismo, ao passo que as hidrossolúveis, quando ingeridas em excesso são eliminadas pela urina. Diante disso, ocorre maior prevalência de casos de toxicidade e/ou hipervitaminose relacionados às vitaminas lipossolúveis quando comparado com às hidrossolúveis (Dala-Paula et al., 2021). Por outro lado, em função da sua participação em diversos processos bioquímicos, as vitaminas são classificadas como micronutrientes essenciais. Por exemplo, algumas vitaminas do complexo B atuam como coenzimas para fornecer energia, a vitamina C participa de vários processos fisiológicos, como a resposta imunológica e a absorção de ferro (Dhakal; He, 2020).

Cabe destacar que o organismo humano não é capaz de sintetizar todas as vitaminas nas quantidades necessárias para o funcionamento metabólico adequado, fazendo-se necessária a ingestão dessas moléculas por meio da dieta e/ou suplementação (Dhakal; He, 2020). Dessa forma, a deficiência de vitaminas pode acarretar o surgimento de doenças ou quadros sintomáticos de hipovitaminose. Assim, vitaminas específicas quando administradas corretamente sob recomendação médica e/ou nutricional podem amenizar ou até mesmo curar os sintomas. Para mais, é recomendável que se pratique hábitos de vida saudável e uma dieta equilibrada, a fim de fornecer quantidades necessárias de vitaminas ao organismo, o que requere mudanças sociais ou até mesmo culturais da comunidade para que se adote uma alimentação ponderada (Dhakal; He, 2020; Dala-Paula et al., 2021).

Com esse intuito, a indústria de alimentos utiliza estratégias como a adição de vitaminas em suas formulações para restaurar possíveis perdas ocorridas durante o processamento, e principalmente para atrair a atenção dos consumidores preocupados com a saúde, devido ao uso de marketing nutricional. Além disso, tem-se tentado melhorar a estabilidade e bioacessibilidade das vitaminas com tecnologias emergentes, adicionando outros componentes ou alterando a estrutura molecular da vitamina, a fim de torná-las mais seguras e com mais valor nutricional (Dhakal; He, 2020; Dala-Paula et al., 2021).

2. Polissacarídeos microbianos na indústria de alimentos

Com a demanda do mercado por alimentos inovadores e naturais, com propriedades sensoriais interessantes para o consumidor, torna-se necessário para o setor se desenvolver para atender a expectativa do consumidor (Kırtel et al., 2017; Mccrickerd; Forde, 2016; Stephen et al., 2006). Um dos responsáveis por essas características sensoriais são os polissacarídeos, que são definidos como moléculas poliméricas de carboidratos, que apresentam em sua constituição monossacarídeos ligados, entre si, por ligações glicosídicas (de Melo et al., 2019).

Esses polímeros possuem atenção especial no setor alimentício, uma vez que auxiliam para o melhoramento destes estímulos, devido a suas propriedades reológicas, como seu comportamento não-Newtoniano ou pseudoplástico e propriedades de cisalhamento, por exemplo, que são fatores que interferem na sensação do alimento na boca, uma vez que irá proporcionar uma boa suspensão ao produto, intensificando seu sabor e proporcionando melhores qualidades reológicas (Jindal; Singh Khattar, 2018). Fator esse que justifica suas aplicações em misturas de bolo, temperos, molhos, xaropes ou laticínios, por exemplo, como agentes emulsificantes, estabilizantes, gelificantes ou para o controle da viscosidade destes (Philp, 2018; Ramalingam et al., 2014).

Existem uma variedade de fontes para a obtenção desses polímeros, podendo estes serem encontrados em plantas, algas, fungos e bactérias, sendo considerados produtos naturais, biodegradáveis, e que não apresentam toxicidade ao meio ambiente e consumidor (Ates, 2015). Dada essa variedade, os métodos utilizados para a sua obtenção podem se dar por meio da extração direta a partir da biomassa (tais como plantas superiores e algas), ou por meio de processos fermentativos, também conhecidos como processos biotecnológicos (Donot et al., 2012).

A obtenção de polissacarídeos a partir de microrganismos apresenta vantagens, do ponto de vista industrial, em relação aos métodos de extração direta a partir das plantas superiores. O principal fator associado a essa vantagem é a sazonalidade destas fontes vegetais, uma vez que afetam diretamente na sua disponibilidade para a obtenção de polissacarídeos (Öner, 2013).

Em contraste, os microrganismos não apresentam dependência das condições climáticas e geográficas, suprimindo a principal limitação dos métodos de extração direta. Ademais, os microrganismos apresentam crescimento rápido, utilizando condições de cultivo simples e seguras, produzem concentrações significativas de produto em um curto período, principalmente em bioprocessos otimizados, fatores estes que incentivam sua utilização para a obtenção desses biopolímeros, além das possibilidades de uso de resíduos, para reduzir os custos associados ao processamento (Jindal; Singh Khattar, 2018; Kırtel et al., 2017).

Como exemplo, tem-se o cultivo da *Xanthomonas campestris* para a produção de xantana, que permite o uso de substratos de baixo custo, como resíduos agroindustriais, como a

casca de coco verde (5,5 g/L de xantana), casca de maracujá (6,7 g/L de xantana), palha e espigas de milho (1,0 e 2,7 g/L de xantana, respectivamente) (Dos Santos et al., 2016). Outro exemplo associado a melhores condições de cultivo é a otimização da produção da levana, a partir de *Bacillus licheniformis*, que é possível alcançar produções próximas a 48 g/L, em processos fermentativos na presença de sacarose (196,8 g/L), cloreto de amônio (2,4 g/L), sendo 7 o pH do meio reacional.

Entretanto, cabe ser ressaltado que o primeiro polissacarídeo microbiano foi descoberto por Pasteur (1891) durante um processo fermentativo para a produção de vinho, a partir da linhagem *Leuconostoc mesenteriodes*, sendo o produto posteriormente identificado como dextrana. Atualmente diversos polissacarídeos microbianos continuam a ser descobertos, sendo alguns de destaque no mercado, como o caso da curdlana, dextrana, gelana, pululana, e com destaque maior para a xantana (Ates, 2015; Freitas et al., 2017). Considerando isso, é esperado um crescimento de 3,6% durante até 2025 desse mercado, sendo estimado para o final desse período o somatório de US$ 7.634,0 milhões (*Transparency Market Research*, 2017).

Ademais, os polissacarídeos microbianos presentes no setor podem ser divididos em duas classes, de acordo com a sua função biológica, sendo classificados como exopolissacarídeos (EPS) (tais como xantana, levana, alginato, dextrana), que são os polissacarídeos sintetizados no interior da célula e excretados para o meio externo e os polissacarídeos armazenados de forma intracelular (como o caso do glicogênio) (Ates; Oner, 2017). As aplicações associadas a estes e outros produtos presentes nesse mercado, bem como as linhagens produtoras foram apresentadas nos estudos de Yildiz e Karatas (2018) e de Kirtel e seus colaboradores (2017). Algumas dessas informações estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais polissacarídeos microbianos utilizados na indústria de alimentos.

Biopolímero	Microrganismos	Aplicações
Celulose	*Gluconacetobacter*, *Agrobacterium*, *Rhizobium* e *Sarcina*	Fibra natural não digestiva.
Curdlana	*Agrobacterium* sp., *Rhizobium* sp., *Bacillus* sp. e *Cellulomonas* sp.	Aditivo alimentar, melhorando a viscosidade e estabilidade do produto.
Dextrana	*Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Weissella*, *Pediococcus* e *Lactobacillus*	Amplamente utilizada em produtos de panificação e confeitaria, com o intuito de melhorar a maciez, a textura do produto ou a retenção de umidade, além de evitar a cristalização destes produtos.
Gelana	*Sphingomonas paucimobilis*	Utilizada como aditivo alimentar, como agente estabilizante, espessante, estruturante e agente gelificante nos produtos alimentícios.
Levana	*Acetobacter*, *Bacillus*, *Brenneria*, *Geobacillus*, *Halomonas*, *Lactobacillus*, *Zymomonas* e *Saccharomyces*	Utilizada em produtos de confeitaria, com o intuito de proporcionar melhoradores características de textura (viscosidade e estabilidade).
Pululana	*Aureobasidium pullulans*, *Cytaria* spp., *Teloschistes flavicans*, *Rhodototula bacarum* e *Cryphonectria parasitica*	Utilizada com o intuito de contribuir nas propriedades associadas à estrutura dos produtos alimentícios.
Xantana	*Xanthomonas campestris*	Utilizada na indústria de alimentos como agente estabilizante, emulsificante, além de atuar como viscosificador.

Fonte: Yildiz e Karatas (2018), Kirtel e seus colaboradores (2017).

Devido à importância para o setor alimentício e dados mercadológicos para esse setor, existem diversas empresas globais que investem na fabricação de polissacarídeos microbianos (Market Research Explore, 2019c, 2019a, 2019b; Prospector, 2019). Os dados que correspondem aos fabricantes desse setor estão contidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais fabricantes de polissacarídeos microbianos no mundo.

Biopolímero	Fabricantes globais
Curdlana	Foodchem International Corporation (China).
Dextrana	DSM N.V. (Holanda); Key Companies (Russia).
Gelana	CP Kelco (Estados Unidos); Foodchem International Corporation (China); Key Companies (Russia).
Pululana	Hayashibara CO., LTD (Japão); Shandong Jinmei Biotechnology Co., Ltd (China);
Xantana	DuPont (Danisco) (Estados Unidos); Cargill Inc. (Estados Unidos); CP Kelco (Estados Unidos); Foodchem International Corporation (China); Key Companies (Russia); Nutramax S.A. (Brasil); SweetMix (Brasil); Vogler Ingredients (Brasil)

Fonte: Market Research Explore (2019a, 2019b, 2019c); (Prospector, 2019).

A *Food Ingredients* Brasil (2019) também apresenta empresas que se destacam no mercado nacional, sendo possível observar que os produtos de maior destaque no país são a gelana e a xantana. Em relação a gelana, a empresa fabricante no Brasil é a CP Kelco, apresentando o produto para duas versões: Gelzan™ e a KELCOGEL® *gellan gum*, obtidas a partir da linhagem *Sphingomonas elodea*. Como diferencial da CP Kelco, os seus produtos buscam atender não somente o setor alimentício com o seu produto KELCOGEL® *gellan gum*, mas também alcançar outra gama de produtos e setores, tais como cuidados pessoais, higiene bucal, formulações de limpeza doméstica, além dos processos fermentativos industriais, utilizando esse polímero como fonte carbônica (GELZAN™).

Já em relação a fabricação da xantana no Brasil, as fábricas responsáveis são a DuPont (Danisco), Cargill Inc., Nutramax S.A., SweetMix e Vogler Ingredients. Com destaque maior a DuPont (Danisco), sendo possível encontrar em seu portfólio cerca de 20 diferentes versões da goma xantana no mercado, sendo 7 destes voltados para aplicação em produtos alimentícios como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Versões disponíveis da goma xantana fabricadas pela DuPont (Danisco) no mercado.

Produto	Benefício	Aplicação
GRINDSTED® Xanthan SAV	Atua como agente espessante e suspensor, tendo alta sinergia com galactomananos.	Maioneses, molhos, vinagrete, ketchup, sopas, dentre outros.
GRINDSTED® Xanthan SAV SOFT	Atua como agente espessante e suspensor, tendo sinergia com galactomananos.	Em produtos salgados com textura extra macia e cremosa, como as maioneses, molhos, vinagrete, ketchup, sopas, dentre outros.
GRINDSTED® Xanthan BEV	Atua como agente espessante e suspensor, tendo alta sinergia com galactomananos.	Aplicação em bebidas – bebidas de frutas, suaves, nutritivas, bebidas instantâneas, dentre outras.
GRINDSTED® Xanthan BAK	Atua como agente espessante e suspensor, tendo alta sinergia com galactomananos.	Produtos de panificação – pães, bolos, massas, biscoitos, dentre outros.
GRINDSTED® Xanthan DAI	Atua como agente espessante e suspensor, tendo baixa reatividade proteica.	Produtos lácteos – bebidas e sobremesas à base de leite e soja, bebidas lácteas acidificadas, preparações de iogurte de frutas, dentre outros.
MAS GRINDSTED® Xanthan	Atua como agente espessante e suspensor, tendo alta sinergia com galactomananos.	Em diversos produtos alimentícios – carne, salmouras, salsichas, queijos processados, dentre outros.
GRINDSTED® Xanthan SAV, BEV, MAS Clear	Atua como agente espessa nte e suspensor com alta transparência, tendo alta sinergia com galactomananos.	Produto que não interfere na cor do produto alimentício – como em bebidas, sobremesas, gelatinas, dentre outros
GRINDSTED® Xanthan SM	Atua como agente espessante e suspensor com alta tolerância ao sal	Aplicação em salmouras

Fonte: Dupont Danisco (2019).

Como pode ser observado na Tabela 3, as diferenças associadas às versões comerciais desse fabricante estão associadas às capacidades de hidratação, dispersão e transparência, como o caso o da GRINDSTED® Xanthan SAV e GRINDSTED® Xanthan SAV SOFT, que apresentam a mesma possibilidade de aplicação, mas com objetivos e benefícios diferentes. Essas possibilidades de aplicações, bem como os diferentes benefícios associados a esses produtos são inovações e estratégias de mercado que destacam a DuPont (Danisco) no setor de biopolímeros.

Desse modo, como alternativa para suprir as limitações associadas aos métodos convencionais para a obtenção de biopolímeros, os polissacarídeos microbianos tornaram-se uma alternativa eficaz para suprir as expectativas e a demanda das indústrias de alimentos. Os indicativos mercadológicos demonstram que é um setor em expansão, o que incentiva as empresas a investirem no desenvolvimento e em produtos inovadores, para atenderem ao seu consumidor e se destacarem no mercado. Com isso, os processos biotecnológicos tornam-se uma estratégia eficaz para a busca por novos polissacarídeos que atendam às expectativas das indústrias alimentícias, bem como aperfeiçoemos benefícios associados a eles.

3. Lipídios microbianos na Indústria de Alimentos

Os lipídios são uma ampla classe de compostos, que apresentam como características comuns sua insolubilidade em água, a solubilidade em solventes orgânicos e a presença de hidrocarbonetos em sua estrutura molecular primária. Nesta categoria estão incluídos ácidos graxos (AG), acilgliceróis, ésteres de ácidos graxos e isoprenóides (Sikorski; Kolakowska, 2011).

Estes compostos desempenham diversas funções em sistemas biológicos, atuando como moléculas de armazenamento de energia, elementos estruturais de membranas biológicas, cofatores enzimáticos (vitamina K), biopigmentos (retinal, caroteno), agentes emulsificantes no trato digestivo (sais biliares), hormônios, dentre outros (Nelson; Cox, 2014).

Na dieta humana, os lipídios de maior relevância são os triacilgliceróis, que são glicerolipídios formados por uma unidade de glicerol esterificada com três AG's, sendo importantes biomoléculas para o organismo humano, devido às funções supracitadas. Os triacilgliceróis podem ser encontrados na forma de óleos (predominância de ácidos graxos de cadeia insaturada) e gorduras (predominância de ácidos graxos de cadeia saturada). Os principais ácidos graxos presentes em alimentos estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais ácidos graxos presentes em alimentos.

Nome sistemático	Nome comum	Esqueleto carbonado
Ácido dodecan oico	Ácido láurico	C12:0
Ácido tetradecan oico	Ácido mirístico	C14:0
Ácido hexadecan oico	Ácido palmítico	C16:0
Ácido octadecan oico	Ácido esteárico	C18:0
Ácido eicosan oico	Ácido araquídico	C20:0
Ácido tetracosanoico	Ácido lignocérico	C24:0
Ácido cis-9-hexadecenóico	Ácido palmitoleico	C16:1
Ácido cis-9-octadecenóico	Ácido oleico (ω9)	C18:1
Ácido cis-9,12-octadecadienóico	Ácido α-linoleico (ω6)	C18:2
Ácido cis-9,12,15-octadecatrienoico	Ácido α-linolênico (ALA - ω3)	C18:3
Ácido cis-5,8,11,14-eicosatetraenóico	Ácido araquidônico (ARA - ω6)	C20:4
Ácido cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico	Ácido eicosapentaenoico (EPA - ω3)	C20:5
Ácido cis-4,7,10,13,16,19-eicosapentaenóico	Ácido docosahexaenoico (DHA - ω3)	C22:6

Fonte: Adaptado de Sikorski; Kolakowska (2011), Nelson; Cox (2014).

Embora, tanto os AG's de cadeia saturada, quanto os de cadeia insaturada sejam importantes biomoléculas para os sistemas biológicos, apenas os saturados e monoinsaturados são sintetizados pelo organismo humano (Nelson; Cox, 2014). Já os peixes de água fria e os vegetais são hábeis em sintetizar AG's poli-insaturados, tornando ambos os alimentos fontes importantes dessas biomoléculas na dieta humana. Entretanto, cabe citar que as plantas contêm apenas AG's poli-insaturados de cadeia curta, ao passo que os peixes de água fria sintetizam tantos os de cadeia curta quanto de cadeia longa (Tabela 5) (Sprague et al., 2017).

Tabela 5 - Concentração de ácidos graxos essenciais em alimentos de origem animal e vegetal.

Alimento	ω6 (mg/g)	ω3 (mg/g)	ARA (mg/g)	EPA (mg/g)	DHA (mg/g)
Óleo de canola	203	93			
Óleo de linhaça	127	533			
Óleo de milho	523	11,6			
Azeite de oliva	97,6	7,6			
Óleo de soja	510	68			
Carne bovina	4,1	0,4	0,5	-	-
Carne de frango	46,5	2,5	1,6	0,2	0,2
Salmão	2,2	3,8	3,4	4,1	14,3
Sardinha	35,4	5,0	-	4,7	5,1
Truta	2,2	2,0	2,4	2,6	6,7

Fonte: Adaptado de MARTIN et al. (2006).

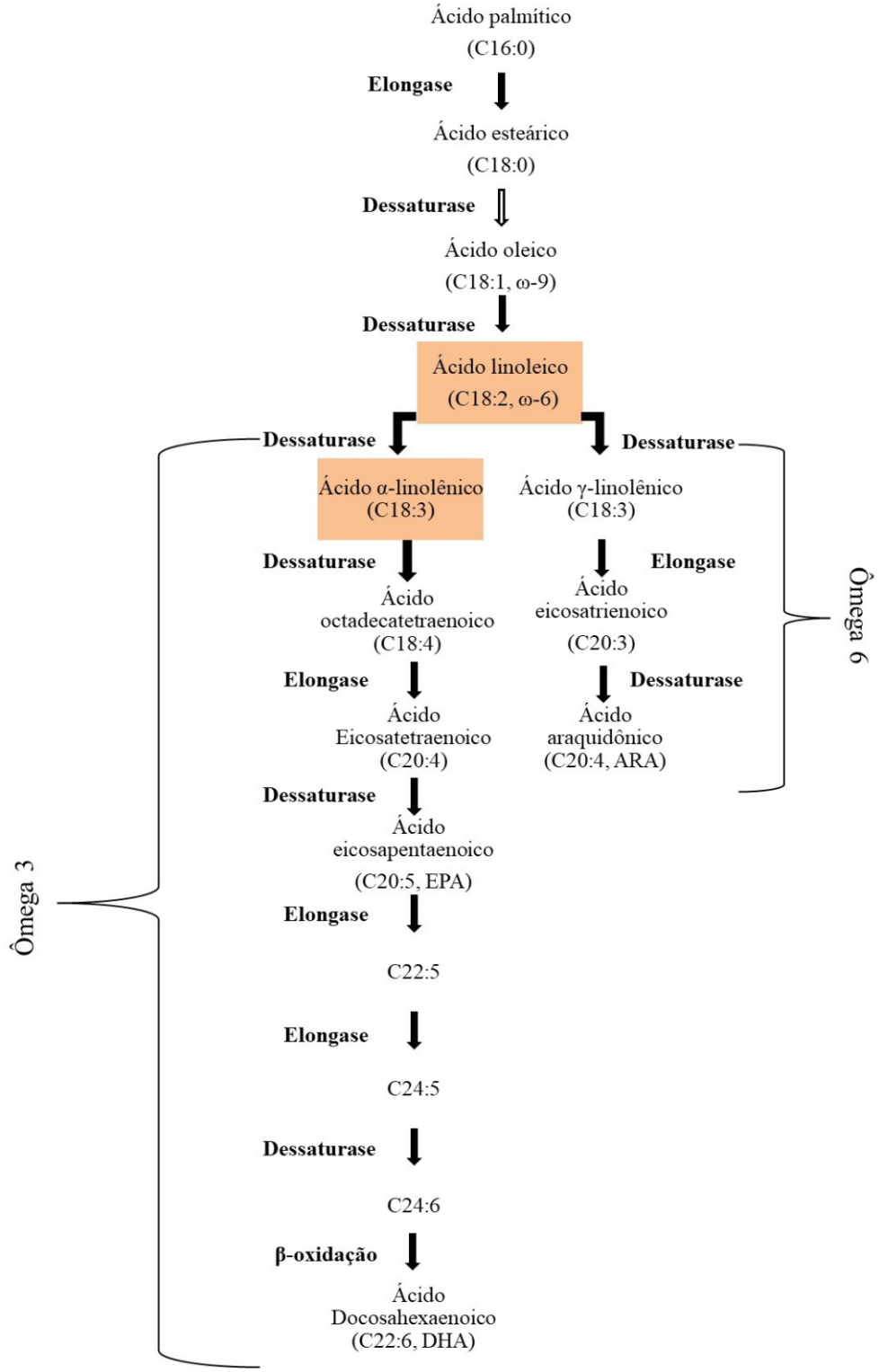
Os AG's poli-insaturados, ácido linoleico (ω6) e ácido α-linolênico (ω3) são considerados essenciais, pois os seres humanos não são capazes de sintetizá-los (Figura 1), contudo, estes podem ser convertidos através de alongases e dessaturases a AG's poli-insaturados de cadeia mais longa (ARA, EPA e DHA, por exemplo), que são importantes moléculas regulatórias (Nelson; Cox, 2014).

O ácido linoleico (C18:2 - ω6) pode ser convertido em alguns ácidos graxos poli-insaturados, como o ácido linolênico (ω3 – ALA), ácido araquidônico (ω6 – ARA) e ácido eicosopentanoico (ω3 – EPA). O ARA e o EPA são importantes precursores de lipídios regulatórios, os eicosanoides, que atuam diretamente sobre o sistema cardiovascular, sistema imune, sistema nervoso central e em mecanismos de resposta inflamatória.

Os eicosanoides são utilizados na síntese de biomoléculas de sinalização e controle de mecanismos inflamatórios: as prostaglandinas, os tromboxanos e os leucotrienos. As prostaglandinas estimulam a contração da musculatura lisa do útero durante a menstruação e trabalho de parto, afetam fluxo sanguíneo, ciclo sono-vigília, elevam a temperatura corporal e causam inflamação e dor. Já os tromboxanos atuam na formação de coágulos e na redução do

fluxo sanguíneo no local do coágulo, enquanto os leucotrienos induzem a contração da musculatura lisa que envolve as vias aéreas até o pulmão e sua produção excessiva causa ataques de asma (Nelson; Cox, 2014). Outro importante AG poli-insaturado, o DHA tem papel importante na formação, desenvolvimento e funcionamento do cérebro e retina (Martin et al., 2006).

Figura 1- Via de síntese de ácidos graxos insaturados a partir do ácido palmítico. Os seres humanos não são capazes de sintetizar os ácidos sombreados em laranja.



Fonte: Adaptado de Appolinário et al. (2011) e Nelson; Cox (2014).

Alguns estudos sugerem que a ingestão em proporções adequadas (entre 1:1 e 4:1) de lipídios poli-insaturados ω6 e ω3 pode estar associada à redução dos riscos de doenças cardiovasculares, dados todos os efeitos desses lipídios em mecanismos inflamatórios (Martin et al., 2006).

Em decorrência das baixas concentrações de AG poli-insaturados em óleos vegetais e animais, outra maneira de garantir a suplementação desses importantes compostos pode dar-se pela ingestão de suplementos alimentares ricos em Ômegas, podendo-se obter essas biomoléculas por processos biotecnológicos utilizando microrganismos.

Os processos biotecnológicos de obtenção de lipídios apresentam uma série de vantagens em relação à obtenção de fontes vegetais e animais, a saber: alta produtividade de biomassa e rapidez de geração; menor área de produção para uma mesma massa graxa; requer substratos baratos e abundantes, os quais podem até ser resíduos lignocelulósicos; produção não sazonal, independente de fatores climáticos; tem aumento de escala facilitado e processos de produção rápidos (Aquarone et al., 2001).

Além de serem utilizados para a produção de suplementos alimentares, os lipídios microbianos também podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de substituto de manteiga de cacau, material de partida para a produção de biodiesel, biossurfactantes, solventes, tintas, plásticos, lubrificantes e ceras (Pessôa et al., 2019).

As leveduras, bactérias (em menor proporção), fungos filamentosos e algas capazes de sintetizar ao menos 20% de sua biomassa em termos de lipídios, estando sob a forma de gotículas, nos vacúolos ou dispersa no citoplasma, são chamadas de “Single Cell Oil's” (Shields-Menard et al., 2018). Alguns dos microrganismos e algas comumente utilizados na síntese lipídios são *Cryptococcus sp, Lipomyces sp, Rhodosporidium sp, Rhodotorula sp, Trichosporon sp, Yarrowia sp, Aspergillus sp, Mortierrela sp, Thamnidium sp, Candida sp, Zygosaccharomyces sp, Zygorhynchus sp, Mucor sp, Torulopsis sp and Pichia sp* (Donot et al., 2014).

A produção de lipídios em microrganismos é estimulada sob alta relação carbono/nitrogênio (C/N – 50-60:1) e na presença de alguns micronutrientes, como fósforo, ferro, zinco e manganês. Microrganismos oleaginosos sob essas condições de estresse nutricional, ou seja, um excesso de carbono (glicose, frutose e xilose, por exemplo) e a limitação de outro nutriente (principalmente nitrogênio), apresentam uma fase de crescimento exponencial até a exaustão do nitrogênio, seguida de uma fase estacionária, onde ocorre o acúmulo de lipídios (Aquarone et al., 2001).

Muito embora, diversos microrganismos sejam hábeis em sintetizar lipídios em quantidades consideráveis, o perfil dos ácidos graxos (fator determinante para aplicação do produto final) formados é bastante variado, sendo resultado, tanto do biocatalisador utilizado, quanto da temperatura, pH, concentração e natureza da fonte de carbono e nitrogênio (Donot et al., 2014; Khot et al., 2012). Além da fase de síntese, a qual é determinante para a aplicação do produto obtido, a produção de lipídios microbianos engloba também as etapas de recuperação e purificação (Figura 2), os quais impactam diretamente nos custos finais do processo.



Figura 2 - Esquema geral de produção e purificação de lipídios microbianos.

Considerando a etapa de separação da biomassa do caldo fermentado, há diversos métodos que são capazes de reduzir o volume de material para as etapas posteriores, sendo os principais a centrifugação, floculação, flotação, filtração e separação magnética. Entre os métodos tradicionais, apenas a centrifugação se adequa às células de leveduras, fungos, bactérias e microalgas, podendo-se utilizar também a filtração para separação de biomassa fúngica (Yellapu et al., 2018).

A etapa de rompimento das células é necessária para a liberação dos lipídios para o meio extracelular, possibilitando sua recuperação. De maneira geral, pode-se lisar diferentes tipos de células através de métodos mecânicos e métodos não-mecânicos, que englobam os métodos químicos, físicos e biológicos.

Os métodos mecânicos são facilmente aplicáveis em escala industrial, apresentando alta eficiência de lise e aplicáveis a todos os tipos de células, contudo tratam-se de métodos de rompimento não seletivos, além de poderem gerar aquecimento,

danificando assim os produtos intracelulares. Já os métodos físicos são aqueles capazes de romper as células sem contato físico, englobando a lise térmica, cavitação e choque osmótico, sendo aplicáveis a todos os tipos de células, mas como desvantagem em geral possuem alto custo. Os métodos químicos e biológicos são indicados para a extração de biomoléculas sensíveis, mas podem compreender técnicas demoradas, de alto custo e sem alta eficiência de extração (Islam et al., 2017).

Alguns métodos aplicáveis ao rompimento de células para extração de lipídios microbianos são: moinho de bolas, homogeneização, ultrasonicação, micro-ondas, eletroporação, choque osmótico, enzimático e extração com solventes orgânicos, surfactantes e fluidos supercríticos (Yellapu et al., 2018).

Uma vez liberados para o meio extracelular os lipídios precisam ser recuperados, de maneira geral, esta etapa é conduzida utilizando-se solventes, principalmente clorofórmio e metanol. Dada a alta toxicidade dos solventes orgânicos, tem-se estudado técnicas de recuperação menos agressivas, como a utilização de dióxido de carbono supercrítico ou etanol (96%) (Bharathiraja et al., 2017).

Apesar de ser um setor pouco conhecido pelos consumidores finais, a capacidade produtiva de SCO's é conhecida desde o século XIX, com as primeiras tentativas de produção durante a Primeira Guerra Mundial na Alemanha. O produto comercial mais antigo que se tem conhecimento é o Oil of Javanicus®, contendo 39% de GLA produzido pela J. & E. Sturge (UK) entre 1985 e 1990, utilizando *Mucor circinelloides*, o qual era utilizado no tratamento de esclerose múltipla e no alívio de tensão pré-menstrual (Ratledge, 2013). Alguns produtos comerciais estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Alguns ácidos graxos poli-insaturados produzidos comercialmente.

Nome comercial	Ácidos graxos poli-insaturados presentes	Empresa	Referência
Life's^{TM} ARA	ARA	DSM	(DSM, 2019)
Cargill ARA	ARA	Cargill	(Cargill, 2019; Ratledge ; Lippmeier, 2017)
AlgaPrime ™ DHA	DHA	Corbion	(Corbion, 2019)
Life's^{TM} DHA®	DHA	DSM	(DSM, 2019)
Life's^{TM} OMEGA	EPA e DHA	DSM	(DSM, 2019)
New Harvest ™	EPA	DuPont	(Tocher et al., 2019; Zhu, 2015)

Legenda: ácido araquidônico (ARA), ácido docosahexaenoico (DHA) e ácido eicosapentaenoico (EPA).

O ácido araquidônico (ARA) é comercializado, especialmente, para nutrição infantil. É produzido utilizando o fungo filamentoso *Mortierella alpina* pela DSM e pela Cargill, tendo produtos comerciais com 49% (Life's™ ARA) e 43% (Cargill ARA) de ácido araquidônico, respectivamente (Ratledge; Lippmeier, 2017).

Além do ácido araquidônico, o DHA também é importante para a nutrição infantil, atuando no desenvolvimento neural e acuidade visual de recém-nascidos, sendo ingeridos através do leite materno ou por meio de suplementação alimentar (leites enriquecidos), uma vez que estes compostos estão ausentes no leite de vaca (Sikorski; Kolakowska, 2011). A Nestlé apresenta um portfólio de leites para lactentes, de transição e especiais suplementados com óleos de *Mortierella* alpina (fonte de ARA) e *Crypthecodinium cohni* (fonte de DHA), como os produtos comerciais: NAN OPTIPRO 1, NAN SUPREME HA 1, NAN SUPREME HA 2, PreNAN PDF, NAN Sem Lactose, NAN CONFORT 1 e NAN AC (Nestlé, 2019). Já a DSM comercializa o Life's™ DHA® produzido por *Crypthecodinium cohni* como suplemento alimentar rico em DHA (~40%) (DSM, 2019; Ratledge; Lippmeier, 2017).

A Corbion também comercializa um produto rico em DHA (~30%) produzido no estado de São Paulo/Brasil utilizando microalgas da espécie *Schizochytrium* e cana de açúcar como fonte de carbono, conhecido como o AlgaPrime™ DHA, contudo, mais voltado para o mercado de rações animais especiais e aquicultura (Corbion, 2019).

O EPA possui efeitos benéficos na regulação da pressão sanguínea, agregação plaquetária e várias respostas inflamatórias, sendo utilizado no alívio de alguns distúrbios neuropsiquiátricos, como transtorno bipolar, depressão, esquizofrenia e hiperatividade (Ratledge & Lippmeier, 2017). O produto New Harvest™ (DuPont) são cápsulas gelatinosas contendo 55% de EPA comercializado como suplemento alimentar, produzido com a levedura *Yarrowia lypolitica* modificada geneticamente para se obter 28% de EPA (g lipídeo/ g de biomassa), cerca de 90% superior à linhagem selvagem (Zhu, 2015). Outro produto contendo EPA é o Life's™ OMEGA, comercializado pela DSM, o qual é produzido a partir de microalgas e o primeiro produto vegetariano a conter EPA e DHA em um único produto (DSM, 2019).

O mercado de lipídios microbianos é promissor e tende a aumentar em decorrência da demanda por fontes vegetarianas de lipídios poli-insaturados e, além do desenvolvimento dos bioprocessos e recuperação dessas biomoléculas, que têm favorecido o aumento de produtos comerciais.

4. Tendências e inovações no setor

Diversas estratégias têm sido utilizadas para aumentar a produtividade dos sistemas biotecnológicos visando minimizar custos e melhorar a rentabilidade desses processos. A seleção de novos biocatalisadores, o uso de ferramentas de otimização de processos, o uso de subprodutos agroindustriais como substratos alternativos, técnicas de engenharia metabólica e técnicas de extração e purificação têm sido empregados (Felipe et al., 2017).

Nos últimos anos, pesquisas têm sido conduzidas para aprimorar e/ou desenvolver técnicas modernas de purificação e extração de compostos bioativos em virtude da alta demanda por esses produtos e necessidade da redução de custos. Diferentes tecnologias de extração podem ser empregadas, porém a escolha do método adequado depende de aspectos como: propriedades da biomassa microbiana, propriedades físico-químicas das moléculas extraíveis e sua perspectiva de uso final. Desta forma, alguns métodos modernos serão abordados sucintamente a seguir (Molino et al., 2020).

a. Sistema aquoso de duas fases (ATPS)

O sistema líquido-líquido vem sendo muito utilizado para a separação e purificação de biomoléculas, a saber, células animais e vegetais, microrganismos, vírus, cloroplastos, proteínas, ácidos nucléicos e produtos biológicos. Além disso, o ATPS é considerado vantajoso em relação aos métodos tradicionais, devido à sua baixa viscosidade e tempo de separação de fase ser considerado muito curto em relação a técnicas convencionais. Além de apresentar alta eficiência, pois garante grande capacidade e compatibilidade com materiais biológicos, bem como alto teor de água em ambas as fases (80–95%) (Raji; Rahbar-Kelishami, 2021; Da Silva et al., 2021).

O sistema bifásico é preparado normalmente utilizando duas fases líquidas imiscíveis, as quais geralmente constituem-se de uma fase aquosa e a outra orgânica. Podem ser, por exemplo, polímero-polímero, polímero-sal, álcool-sal, acetonitrila-açúcares, entre outros. Entretanto, a mistura polietilenoglicol (PEG)-sal é a mais utilizada, pois apresentam baixa tensão interfacial, menor viscosidade, rápida separação de fases, maior diferença de polaridade entre as fases e baixo custo em relação ao sistema polímero-polímero (Da Silva et al., 2021; Yahya; Attan; Wahab, 2018).

Em relação à extração, as propriedades do solvente como a miscibilidade, a densidade e solubilidade devem ser levados em consideração, uma vez que elas estão diretamente ligadas ao composto-alvo a ser extraído. Recentemente, os ATPS utilizando etanol têm sido aplicados com sucesso para extração de produtos naturais, como ácidos fenólicos, flavonóides e alcaloides (Ran et al., 2019; Yahya; Attan; Wahab, 2018).

Desse modo, o ATPS mostra-se uma técnica potencial com grandes vantagens econômicas no processamento, como por exemplo, estágios que envolvem separação, concentração e purificação reduzidos, permitindo que o processo de recuperação não fique mais eficiente em relação à energia e ao custo-benefício. Alternativamente, o método ATPS quando comparado ao convencional, oferece benefícios, tais como: processo simples, separação rápida, alta seletividade, baixo consumo de energia e baixo custo (Phong et al., 2018; Da Silva et al., 2021; Yahya; Attan; Wahab, 2018; Basaiahgari; Gardas, 2021).

b. Extração com fluidos supercríticos (SFE)

A SFE é considerada como sendo a técnica não-convencional moderna mais utilizada industrialmente em larga escala, a qual utiliza fluidos supercríticos como solventes para que ocorra a extração. Os fluidos supercríticos exibem comportamentos de grande interesse científico e tecnológico, devido às variações de suas propriedades físicas (Skuntz; Seymour; Anderson, 2021; Molino et al., 2020; Jiang; Ghosh; Charcosset, 2021).

Os fluidos supercríticos possuem características intermediárias entre as de um líquido e de um gás, apresentando coeficientes de difusão próximos aos de um gás, capacidade de difusão maior de uma a duas ordens de magnitude em relação aos dos líquidos, acarretando uma rápida e eficiente transferência de massa. Além disso, possuem baixa viscosidade e a ausência de tensão superficial, o que facilita sua penetração na matriz sólida. Por fim, também apresentam valores de densidade próximos aos de um líquido, sendo considerados bons solventes (Skuntz; Seymour; Anderson, 2021; Molino et al., 2020; Singh et al., 2021a; Gallego; Bueno; Herrero, 2019).

Vários solventes podem ser usados na extração de fluido supercrítico devido às suas propriedades críticas, tais como: etanol, hexano, metanol, pentano, butano, óxido nitroso, hexafluoreto de enxofre, hidrocarbonetos fluorados e dióxido de carbono (CO2), sendo este último o mais empregado no processamento de alimentos e compostos naturais. As propriedades de baixa temperatura e pressão críticas e por ser considerado não tóxico, torna o CO2 o solvente preferido para o processo de SFE. Essa tecnologia ocorre basicamente em duas etapas: (1) solubilização dos compostos químicos presentes na matriz sólida e sua separação no solvente supercrítico; (2) durante a extração, o solvente flui pelo leito compactado, solubilizando os compostos existentes na matriz. Subsequentemente, o solvente sai do extrator carregando os compostos solubilizados e, por redução da pressão e/ou aumento da temperatura, o extrato torna-se livre de solvente (Molino et al., 2020; Da Silva; Rocha-Santos; Duarte, 2016; Saini et al., 2021).

Em comparação com as técnicas convencionais, a SFE apresenta vantagens, como a menor quantidade de solvente, tempo de descarte mais rápido, automação facilitada, seletividade, capacidade de combinação com outros métodos e a não-geração de resíduos. Além disso, um rápido ajuste nos parâmetros de pressão e/ou temperatura mudará expressivamente a densidade do fluido, fazendo aumentar a força de resolução em 80-100 vezes aproximadamente (Singh et al., 2021; Garavand, et al., 2019).

c. Otimização de processos biotecnológicos

Os processos biotecnológicos vêm se destacando nos últimos anos, com isso, ferramentas como os métodos estatísticos, estão cada vez mais sendo utilizados para tornar o processo adequado e confiável. Nesse sentido, destacam-se o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e Projeto *Plackett-Burman* (PB) como as ferramentas mais utilizadas no processo de otimização (Yupanqui-Mendoza et al., 2022; Si et al., 2019; Wang et al., 2019).

Desta forma, ressalta-se que os métodos estatísticos supracitados são eficazes, pois reduzem a quantidade de experimentos necessários e proporcionam uma melhor correlação entre os fatores que influenciam a resposta fermentativa, além disso, permitem a verificação das interações entre os parâmetros analisados (Yupanqui-Mendoza et al., 2022; Fernandes et al., 2020; Wehaidy et al., 2020). Ademais, variáveis de processo e cultivo podem ser otimizadas concomitantemente, e consequentemente muitas informações são derivadas, logo, a quantidade de ensaios experimentais são reduzidos (Stalidzans; Dace, 2021; Abd El Aty; Wehaidy; Mostafa, 2014).

Desse modo, os métodos estatísticos supracitados fornecem um projeto com maior eficiência, pois facilitam a identificação da influência das variáveis estudadas individuais, e combinadas entre si, bem como a extração de informações quantitativas relevantes para padronização de um bioprocesso (Abd El Aty; Wehaidy; Mostafa, 2014). Dentre as variáveis mais estudadas no campo da otimização de processos, destacam-se: fontes de carbono, fontes de nitrogênio, relação C/N, pH, temperatura, entre outros são fatores que interferem diretamente o processo de fermentação. No entanto, um processo otimizado dá-se através da associação da máxima produção do composto com um menor custo (Fernandes et al., 2020; Wehaidy et al., 2020; Medina-Cabrera et al., 2020; Barcelos et al., 2019). Com isso, alguns estudos que ilustram tais técnicas serão abordados suscintamente a seguir.

Iniciando com o estudo de Tarafdar e colaboradores (2021), o qual relatou que as técnicas de otimização combinadas são capazes de aumentar a produção de enzimas em 90,7%. A produção, por exemplo, de *poligalacturonase* de *B. subtilis* foi prevista usando modelos de sistemas adaptativos de inferência *neuro-fuzzy* e redes neurais. Com o mesmo contexto, Salim e colaboradores (2019) usaram uma abordagem de rede neural artificial acoplada ao algoritmo genético para otimizar a produção de L-metioninase, e obtiveram como resposta, um aumento de 2,7 vezes no rendimento.

Já Ratnakomala (2019), otimizou as condições de fermentação com o projeto experimental Taguchi e RMS, com intuito de aumentar a produção de carboximetilcelulase (CMCase) por *Streptomyces sp*. Bse 7-9. Como resposta, o estudo apresentou que o meio fermentativo ideal para a produção máxima de celulase foi com a concentração de bagaço (1,84 % p/v), extrato de levedura (0,5 % p/v) e CaSO4 (0,02 % p/v), logo, a atividade máxima da CMCase neste meio foi de 4,496 U mL^{-1}.

Mohsin e colaboradores (2018), otimizaram o processo fermentativo, através do uso da ferramenta RMS, para produzirem a goma xantana a partir de resíduos de laranja. Sob as condições ótimas (1,62% de hidrólise ácida, 85% de fonte de carbono - casca de laranja e 30,4°C de temperatura), os autores obtiveram um rendimento de xantana de 22,05 g/L.

Diante do exposto, as condições de fermentação são relevantes para a produção de compostos bioativos, com ênfase nas enzimas. E os parâmetros de fermentação podem afetar significativamente e diretamente a produtividade delas, portanto, quando as variáveis estão otimizadas, a produção aumenta e o custo diminui.

d. Elevação de escala

Evolução laboratorial adaptativa (ALE) é o processo em que os princípios de desenvolvimento natural são praticados em laboratório sobre um organismo específico em condições controladas. Além disso, a seleção natural é direcionada para um ambiente com as condições desejadas, ou melhor, para que as espécies se adaptem ao novo ambiente particular, sobrevivam e se reproduzam (Mavrommati et al., 2021; Schneider et al., 2019).

Nesse sentindo, destacam-se os microrganismos, como os seres mais estudados por ALE, estes apresentam algumas vantagens em relação aos animais e plantas, tais como: curto tempo de geração (20 min-10 h), além de grande tamanho populacional, ambiente facilmente aplicável e reprodutível, bem como suas culturas podem ser congeladas e permanecer vitais por um longo período de tempo (Mavrommati et al., 2021; Schneider et al., 2019).

Para que ocorra uma elevação de escala eficaz e máxima, os parâmetros do processo devem estar devidamente otimizados em pequena escala, para que de fato ocorra o aumento de escala (Mavrommati et al., 2021; Liu; Wilkins, 2020). Como por exemplo no estudo de Liu e Wilkins (2020), o qual observaram maior atividade de álcool aril oxidase com o aumento de escala, a saber, 1520 U/L foi observado utilizando biorreator de tanque agitado, enquanto 1021 U/L foi utilizando frasco de agitação.

No entanto, é crucial que projetos ótimos de biorreatores sejam realizados por intervenções de engenharia, uma vez que, o processo irá operar em condições ideais para produção de ingredientes. Nesse sentido, relata-se que atualmente as literaturas estão estudando projetos de biorreatores (fermentadores) para produção de enzimas industriais em processos SmF ou SSF (Tarafdar et al., 2021).

Outros estudos também abordaram sobre o aumento de escala, como Mavrommati e colaboradores (2021) que relataram sobre a capacidade de acúmulo de lipídios, em que esse problema foi resolvido com ampliação de um frasco de agitação para um biorreator de 5 L em condições de batelada alimentada. De fato, após a primeira alimentação de glicose às 48 h, a cepa final apresentou concentração 24% maior de lipídios totais em comparação com a cepa inicial nas mesmas condições.

Schneider e colaboradores (2019), encontraram resultados satisfatórios em relação a atividade da enzima lacase. Para tal, utilizando frascos e biorreator de tanque agitado, obteve a atividade da lacase de 5017 U/mL e 6588 U/mL, respectivamente. Demonstrando que no biorreator a atividade enzimática de lacase apresentou resultados mais elevados quando comparado ao frasco.

Diante disso, têm-se que a elevação de escala é o fator crucial para máxima produção de compostos bioativos, no entanto, é necessário otimizar os parâmetros de processo antes da etapa de aumento de escala para que os resultados satisfatórios sejam alcançados.

e. Engenharia genética como ferramenta para a melhoria de bioprocessos

A engenharia genética é a exploração da diversidade química alcançável pelo metabolismo celular inerente dos diferentes tipos de microrganismos, tornando possível a geração de uma fábrica celular para a produção industrial de biomoléculas economicamente mais interessante do que linhagens selvagens (Lin et al., 2017). Esta técnica consiste em um processo de otimização de vias metabólicas e redes regulatórias para a síntese de um metabólito endógeno nativo ou agregação de vias metabólicas heterólogas para a produção de moléculas alvo usando abordagens moleculares, genéticas e combinatórias (Lian et al., 2018; Lin et al., 2017; Zhu, 2015)

Esta ciência pode envolver a reconversão do metabolismo celular para incorporar a metabolização de substratos complexos, como a xilose; o aumento da produção de metabólitos endógenos, a síntese de novas biomoléculas e melhoria das propriedades celulares, como a permeabilidade a compostos (Ruff et al., 2016). A título de exemplo, a aplicação de técnicas de recombinação homóloga para bloquear genes que codificam a produção de melanina em *Aureobasidium pullulans*, um potencial produtor de pululana, pode otimizar o processo de recuperação do polissacarídeo (Guo et al., 2017), além de diversos outros processos, como na produção de enzimas (Liu; Wilkins, 2020.

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A produção de biomoléculas de interesse comercial, por meio dos processos biotecnológicos, tem se tornado cada vez mais intensa na indústria de alimentos, principalmente em decorrência das vantagens desses processos frente à extração de fontes naturais e/ou síntese química de substâncias. Associado a isso, essas biomoléculas agregam características sensoriais e/ou nutricionais interessantes aos produtos alimentícios, favorecendo o desenvolvimento do setor.

Os polissacarídeos e os lipídios microbianos são grandes exemplos de relevância comercial para o setor, os quais têm sido empregados na melhoria de propriedades do produto final, ajudando a atender uma demanda de mercado por produtos naturais que impactem em menor grau o meio ambiente, fomentando o desenvolvimento do setor biotecnológico aplicado à indústria alimentícia.

Neste âmbito, a modernização de técnicas e estudos de processos mais sustentáveis têm favorecido ainda mais a competitividade dos bioprodutos oriundos da biotecnologia. Destacam-se os investimentos em seleção e melhoramento de linhagens para aumentar a produtividade e trabalhos para o aproveitamento de subprodutos da indústria alimentícia como substratos desses processos fermentativos e desenvolvimento de tecnologias de extração com apelo sustentável.

Apesar dos avanços das últimas décadas, esse setor ainda precisa de maiores investimentos e maior aprofundamento na ciência e tecnologia, visando aumentar as escalas dos processos, baratear os custos de produção, tornando cada vez mais produtos biotecnológicos aplicáveis em um amplo espectro de produtos alimentícios e de outras áreas comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El Aty, A. A., Wehaidy, H. R., Mostafa, F. A. (2014). Optimization of inulinase production from low cost substrates using Plackett–Burman and Taguchi methods. Carbohydrate polymers, 102, 261-268. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.007

Adetunji, A. I., & Olaniran, A. O. (2021). Production and potential biotechnological applications of microbial surfactants: An overview. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(1), 669. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.10.058

Almeida, D. G., Soares Da Silva, R. D. C. F., Luna, J. M., Rufino, R. D., Santos, V. A., Banat, I. M., & Sarubbo, L. A. (2016). Biosurfactants: promising molecules for petroleum biotechnology advances. Frontiers in Microbiology, 7, 1718. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01718

Appolinário, P. P., Derogis, P. B. M. C., Yamaguti, T. H., & Miyamoto, S. (2011). Metabolismo, oxidação e implicações biológicas do ácido docosahexaenoico em doenças neurodegenerativas. Química Nova, 34(8), 1409–1416. https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000800021

Aquarone, E., Borzani, W., Schmidell, W., & Lima, U. de A. (2001). Biotecnologia Industrial Vol. IV. Edgard Blücher.

Ates, O. (2015). Systems biology of microbial exopolysaccharides production. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 3(December), 1–16. https://doi.org/10.3389/fbioe.2015.00200

Ates, O., & Oner, E. T. (2017). Microbial xanthan, levan, gellan, and curdlan as food additives. In Microbial Functional Foods and Nutraceuticals (pp. 149–173). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119048961.ch7

Barcelos, M. C., Vespermann, K. A., Pelissari, F. M., & Molina, G. (2020). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. Critical reviews in food science and nutrition, 60(9), 1475-1495. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1575791

Basaiahgari, A., & Gardas, R. L. (2021). Ionic liquid–based aqueous biphasic systems as sustainable extraction and separation techniques. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 27, 100423. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100423

Bharathiraja, B., Sridharan, S., Sowmya, V., Yuvaraj, D., & Praveenkumar, R. (2017). Microbial oil - a plausible alternate resource for food and fuel application. Bioresource Technology, 233, 423–432. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.006

Biswas, S., & Pal, A. (2021). Application of biopolymers as a new age sustainable material for surfactant adsorption: A brief review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 100145. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100145

Cargill. (2019). Health Promoting Ingredients. https://www.cargill.com/food-bev/na/arachidonic-acid

Corbion. (2019). AlgaPrimeTM DHA. http://algaprime.com/

Da Silva, R. D. C. F., Almeida, D. G., Rufino, R. D., Luna, J. M., Santos, V. A., & Sarubbo, L. A. (2014). Applications of biosurfactants in the petroleum industry and the remediation of oil spills. International Journal of Molecular Sciences, 15(7), 12523-12542. https://doi.org/10.3390/ijms150712523

Da Silva, R. P., Rocha-Santos, T. A., & Duarte, A. C. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. TrAC – Trends in Analytical Chemistry, 76, 40-51. https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.11.013

Dala-Paula, B. M. et al. (2021). Vitaminas (p. 176–204). In: Química & Bioquímica de Alimentos. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas.

Dala-Paula, B. M. et al. (2021). Enzimas (p. 161– 173). In: Química & Bioquímica de Alimentos. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas.

De Almeida, D. G., Soares Da Silva, R. D. C. F., Luna, J. M., Rufino, R. D., Santos, V. A., Banat, I. M., & Sarubbo, L. A. (2016). Biosurfactants: promising molecules for petroleum biotechnology advances. Frontiers in Microbiology, 7, 1718. https://10.3389/fmicb.2016.01718

De Luca, D., & Autilio, C. (2021). Strategies to protect surfactant and enhance its activity. Biomedical Journal, 44 (6), 654-662.. https://doi.org/10.1016/j.bj.2021.07.011

De Melo, G. V. et al. Bioactive Polysaccharides Produced by Microorganisms: Production and Applications. In: High Value Fermentation Products. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2019. v. 2p. 231–251.

Dhakal, S. P., & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. Food Research International, 137, 109326. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109326

Donot, F., Fontana, A., Baccou, J. C., & Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides : Main examples of synthesis , excretion , genetics and extraction. Carbohydrate Polymers, 87, 951–962. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.08.083

Donot, F., Fontana, A., Baccou, J. C., Strub, C., & Schorr-Galindo, S. (2014). Single cell oils (SCOs) from oleaginous yeasts and moulds: Production and genetics. Biomass and Bioenergy, 68(04), 135–150. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.06.016

Dos Santos, F. P., Oliveira, A. M., Nunesa, T. P., De Farias Silva, C. E., & De Souza Abud, A. K. (2016). Bioconversion of agro-industrial wastes into xanthan gum . Chemical Engineering Transactions, 49, 145–150. https://doi.org/10.3303/CET1649025

DSM. (2019). Nutritional Lipids. https://www.dsm.com/markets/human-nutrition/en/products/nutritional-lipids.html

DuPont Danisco. (2019). GRINDSTED Xanthan. DuPont Danisco.

Farias, C. B. B., Almeida, F. C., Silva, I. A., Souza, T. C., Meira, H. M., Rita de Cássia, F., ... & Sarubbo, L. A. (2021). Production of green surfactants: Market prospects. Electronic Journal of Biotechnology, 51, 28-39.. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2021.02.002

Fasim, A., More, V. S., & More, S. S. (2021). Large-scale production of enzymes for biotechnology uses. Current Opinion in Biotechnology, 69, 68-76. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.12.002

Felipe, L. de O., Oliveira, A. M. de, & Bicas, J. L. (2017). Bioaromas – Perspectives for sustainable development. Trends in Food Science and Technology, 62, 141–153. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.005

Fenton, T., Gholamipour-Shirazi, A., Daffner, K., Mills, T., & Pelan, E. (2021). Formulation and additive manufacturing of polysaccharide-surfactant hybrid gels as gelatin analogues in food applications. Food Hydrocolloids, 120, 106881. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106881

Fernandes, I. D. A. A., Pedro, A. C., Ribeiro, V. R., Bortolini, D. G., Ozaki, M. S. C., Maciel, G. M., Haminiuk, C. W. I. (2020). Bacterial cellulose: From production optimization to new applications. International Journal of Biological Macromolecules, 164, 2598-2611. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.255

Florêncio, M. N. da S., Abud, A. K. de S., Costa, B. M. G., & Oliveira Junior, A. M. (2020). Análise da produção e colaboração da biotecnologia no Brasil. Research, Society and Development, 9(7), e448974362. https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4362

Food Ingredients Brasil. (2019). Guia de fornecedores. Food Ingredients Brasil.

Freitas, F., Torres, C. A. V, & Reis, M. A. M. (2017). Engineering aspects of microbial exopolysaccharide production. Bioresource Technology. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.092

Galano, M., van den Dungen, M. W., van Rij, T., & Abbas, H. E. (2021). Safety evaluation of food enzymes produced by a safe strain lineage of Bacillus subtilis. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 126, 105030. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.105030Get

Galimberti, A., Bruno, A., Agostinetto, G., Casiraghi, M., Guzzetti, L., & Labra, M. (2021). Fermented food products in the era of globalization: tradition meets biotechnology innovations. Current Opinion in Biotechnology, 70, 36–41. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.006

Gallego, R., Bueno, M., & Herrero, M. (2019). Sub-and supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plants, food-by-products, seaweeds and microalgae–An update. TrAC – Trends in Analytical Chemistry, 116, 198-213. https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.04.030

Garavand, F., Rahaee, S., Vahedikia, N., & Jafari, S. M. (2019). Different techniques for extraction and micro/nanoencapsulation of saffron bioactive ingredients. Trends in Food Science & Technology, 89, 26-44. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.005

Gopalan, N., & Nampoothiri, K. M. (2016). Biotechnological production of enzymes using agro-industrial wastes: economic considerations, commercialization potential, and future prospects. In Agro-industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production (pp. 313-330). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802392-1.00014-9

Gudiña, E. J., & Rodrigues, L. R. (2019). Research and production of biosurfactants for the food industry. Bioprocessing for Biomolecules Production, 125-143. https://doi.org/10.1002/9781119434436.ch6

Guo, J., Wang, Y., Li, B., Huang, S., Chen, Y., Guo, X., & Xiao, D. (2017). Development of a one-step gene knock-out and knock-in method for metabolic engineering of Aureobasidium pullulans. Journal of Biotechnology, 251(April), 145–150. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.04.029

Islam, M. S., Aryasomayajula, A., & Selvaganapathy, P. (2017). A Review on Macroscale and Microscale Cell Lysis Methods. Micromachines, 8(3), 83. https://doi.org/10.3390/mi8030083

Jiang, T., Ghosh, R., & Charcosset, C. (2021). Extraction, purification and applications of curcumin from plant materials-A comprehensive review. Trends in Food Science & Technology, 112, 419-430.. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.015

Jindal, Nm. P. in F. I., & Singh Khattar, J. (2018). Microbial Polysaccharides in Food Industry. In Biopolymers for Food Design (pp. 95–123). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00004-9

Katsimpouras, C., & Stephanopoulos, G. (2021). Enzymes in biotechnology: Critical platform technologies for bioprocess development. Current Opinion in Biotechnology, 69, 91-102. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.12.003

Khot, M., Kamat, S., Zinjarde, S., Pant, A., Chopade, B., & Ravikumar, A. (2012). Single cell oil of oleaginous fungi from the tropical mangrove wetlands as a potential feedstock for biodiesel. Microbial Cell Factories, 11(71), 1–13. https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-71

Kırtel, O., Avşar, G., Erkorkmaz, B. A., & Öner, E. T. (2017). Microbial Polysaccharides as Food Ingredients. In Microbial Production of Food Ingredients and Additives (pp. 347–383). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811520-6.00012-X

Lian, J., Mishra, S., & Zhao, H. (2018). Recent advances in metabolic engineering of Saccharomyces cerevisiae: New tools and their applications. Metabolic Engineering, 50(January), 85–108. https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.04.011

Lin, J.-L., Wagner, J. M., & Alper, H. S. (2017). Enabling tools for high-throughput detection of metabolites: Metabolic engineering and directed evolution applications. Biotechnology Advances, 35(8), 950–970. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.07.005

Liu, E., & Wilkins, M. R. (2020). Process optimization and scale-up production of fungal aryl alcohol oxidase from genetically modified Aspergillus nidulans in stirred-tank bioreactor. Bioresource Technology, 315, 123792. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123792

Markande, A. R., Patel, D., & Varjani, S. (2021). A review on biosurfactants: properties, applications and current developments. Bioresource Technology, 330, 124963. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124963

Market Research Explore. (2019a). Global Dextran Market Status and Future Forecast 2015-2024. Market Research Explore. https://www.indexmarketsresearch.com/report/global-dextran-market-11/360420/

Market Research Explore. (2019b). Global Pullulan Market Analysis 2013-2018 and Forecast 2019-2024. Market Research Explore. https://www.indexmarketsresearch.com/report/global-pullulan-market-7/167405/

Market Research Explore. (2019c). Global Xanthan Gum Market Status and Future Forecast 2015-2024. Market Research Explore. https://www.marketresearchfuture.com/reports/xanthan-gum-market-748

Martin, C. A., De Almeida, V. V., Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L., Matshushita, M., De Souza, N. E., & Visentainer, J. V. (2006). Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: Importância e ocorrência em alimentos. Revista de Nutricao, 19(6), 761–770. https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000600011

Mavrommati, M., Daskalaki, A., Papanikolaou, S., & Aggelis, G. (2021). Adaptive laboratory evolution principles and applications in industrial biotechnology. Biotechnology Advances, 107795. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107795

Mccrickerd, K., & Forde, C. G. (2016). Sensory influences on food intake control : moving beyond palatability. Obesity Reviews, 17(1), 18–29. https://doi.org/10.1111/obr.12340

Medina-Cabrera, E. V., Rühmann, B., Schmid, J., & Sieber, V. (2020). Optimization of growth and EPS production in two Porphyridum strains. Bioresource Technology Reports, 11, 100486. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100486

Mohsin, A., Zhang, K., Hu, J., Tariq, M., Zaman, W. Q., Khan, I. M., Guo, M. (2018). Optimized biosynthesis of xanthan via effective valorization of orange peels using response surface methodology: A kinetic model approach. Carbohydrate polymers, 181, 793-800. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.076

Molino, A., Mehariya, S., Di Sanzo, G., Larocca, V., Martino, M., Leone, G. P., ... & Musmarra, D. (2020). Recent developments in supercritical fluid extraction of bioactive compounds from microalgae: Role of key parameters, technological achievements and challenges. Journal of CO2 Utilization, 36, 196-209. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2019.11.014

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2014). Princípios de Bioquímica de Lehninger (6th ed.). Artmed.

Nestlé. (2019). Leites Infantis & Leites de Crescimento. https://www.nestlebebe.pt/produtos-e-marcas/leites-infantis-e-leites-de-crescimento

Öner, E. T. (2013). Microbial Production of Extracellular Polysaccharides from Biomass. In Z. Fang (Ed.), Pre-treatment of Malaysian Agricultural Wastes Toward Biofuel Production (pp. 35–56). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32735-3_2

Parayil, A., & Santos, C. (2021). Editorial overview: nature's catalysts: The important role of enzymes in biotechnology.

Pasteur, L. (1891). On the viscous fermentation and the butyrous fermentation. Bulletin de La Société Chimique de France, 11, 30–31.

Pessôa, M. G., Vespermann, K. A. C., Paulino, B. N., Barcelos, M. C. S., Pastore, G. M., & Molina, G. (2019). Newly isolated microorganisms with potential application in biotechnology. Biotechnology Advances, 37(2). https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.007

Philp, K. (2018). Polysaccharide Ingredients. In Reference Module in Food Science (pp. 1–23). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22367-6

Phong, W. N., Show, P. L., Chow, Y. H., & Ling, T. C. (2018). Recovery of biotechnological products using aqueous two phase systems. Journal of bioscience and bioengineering, 126(3), 273-281. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.005

Planas-Iglesias, J., Marques, S. M., Pinto, G. P., Musil, M., Stourac, J., Damborsky, J., & Bednar, D. (2021). Computational design of enzymes for biotechnological applications. Biotechnology Advances, 107696. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107696

Prospector. (2019). Guia de fornecedores e produtores de alimentos, bebidas e nutrição. Prospector.

Raji, F., & Rahbar-Kelishami, A. (2021). Evaluation of biocompatible aqueous two-phase systems with the double interface for the recovery of biomolecules. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 624, 126823. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.126823

Ramalingam, C., Priya, J., & Mundra, S. (2014). Applications of microbial polysaccharides in food industry. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 27(1), 322–324. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00004-9Get

Ran, L., Yang, C., Xu, M., Yi, Z., Ren, D., & Yi, L. (2019). Enhanced aqueous two-phase extraction of proanthocyanidins from grape seeds by using ionic liquids as adjuvants. Separation and Purification Technology, 226, 154-161. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.089

Rastogi, H., & Bhatia, S. (2019). Future prospectives for enzyme technologies in the food industry. In Enzymes in food biotechnology (pp. 845-860). Academic Press.

Ratledge, C. (2013). Microbial oils: an introductory overview of current status and future prospects. Ocl, 20(6), D602. https://doi.org/10.1051/ocl/2013029

Ratledge, C., & Lippmeier, C. (2017). Microbial production of fatty acids. In Fatty Acids. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809521-8.00006-4

Ratnakomala, S. (2019, March). Enhancement of Cellulase (CMCase) production from marine actinomycetes Streptomyces sp. Bse 7-9: Optimization of fermentation medium by Response Surface Methodology. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 251 (1), 012005. IOP Publishing. https://doi:10.1088/1755-1315/251/1/012005

Raveendran, S., Parameswaran, B., Beevi Ummalyma, S., Abraham, A., Kuruvilla Mathew, A., Madhavan, A., & Pandey, A. (2018). Applications of microbial enzymes in food industry. Food technology and biotechnology, 56(1), 16-30. https://doi.org/10.17113/ftb.56.01.18.5491

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021). The progress and application of vitamin E encapsulation-A review. Food hydrocolloids, 121. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106998

Rischer, H., Szilvay, G. R., & Oksman-Caldentey, K.-M. (2020). Cellular agriculture — industrial biotechnology for food and materials. Current Opinion in Biotechnology, 61, 128–134. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.003

Ruff, A. J., Arlt, M., van Ohlen, M., Kardashliev, T., Konarzycka-Bessler, M., Bocola, M., Dennig, A., Urlacher, V. B., & Schwaneberg, U. (2016). An engineered outer membrane pore enables an efficient oxygenation of aromatics and terpenes. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, 134, 285–294. https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2016.11.007

Saini, K. C., Yadav, D. S., Mehariya, S., Rathore, P., Kumar, B., Marino, T., ... & Molino, A. (2021). Overview of extraction of astaxanthin from Haematococcus pluvialis using CO2 supercritical fluid extraction technology vis-a-vis quality demands. In Global Perspectives on Astaxanthin (pp. 341-354). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823304-7.00032-5

Salim, N., Santhiagu, A., & Joji, K. (2019). Process modeling and optimization of high yielding L-methioninase from a newly isolated Trichoderma harzianum using response surface methodology and artificial neural network coupled genetic algorithm. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 17, 299-308. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.11.032

Silva, R. D. C. F., Almeida, D. G., Rufino, R. D., Luna, J. M., Santos, V. A., & Sarubbo, L. A. (2014). Applications of biosurfactants in the petroleum industry and the remediation of oil spills. International Journal of Molecular Sciences, 15(7), 12523-12542. https://doi.org/10.3390/ijms150712523

Schneider, WDH, Costa, PC, Fontana, RC, de Siqueira, FG, Dillon, AJP, & Camassola, M. (2019). Upscale e caracterização de enzimas modificadoras de lignina de Marasmiellus palmivorus VE111 em biorreator sob otimização de parâmetros e efeito de indutores. Journal of Biotechnology, 295, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.03.002

Shields-Menard, S. A., Amirsadeghi, M., French, W. T., & Boopathy, R. (2018). A review on microbial lipids as a potential biofuel. Bioresource Technology, 259, 451–460. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.080

Si, J., Meng, G., Wu, Y., Ma, H. F., Cui, B. K., & Dai, Y. C. (2019). Medium composition optimization, structural characterization, and antioxidant activity of exopolysaccharides from the medicinal mushroom Ganoderma lingzhi. International Journal of Biological Macromolecules, 124, 1186-1196. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.274

Sikorski, Z. E., & Kolakowska, A. (2011). Chemical, biological, and functional aspects of food lipids (Second). Taylor & Francis Group.

Singh, S., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., Patel, A. R., Shah, N., & Aguilar, C. N. (2021). Supercritical Fluid Extraction (SCFE) as Green Extraction Technology for High-value Metabolites of Algae, Its Potential Trends in Food and Human Health. Food Research International, 150, 110746. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110746

Skuntz, M. E., Seymour, J. D., & Anderson, R. (2021). Observation of heat transfer due to variable thermophysical properties of sub-, near-and super-critical fluids in porous media by magnetic resonance imaging. International Communications in Heat and Mass Transfer, 128, 105635. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105635

Sprague, M., Betancor, M. B., & Tocher, D. R. (2017). Microbial and genetically engineered oils as replacements for fish oil in aquaculture feeds. Biotechnology Letters, 39(11), 1599–1609. https://doi.org/10.1007/s10529-017-2402-6

Stahmann, K. P. (2019). Vitamins and vitamin-like compounds: microbial production.

Stalidzans, E.,Dace, E. (2021). Sustainable metabolic engineering for sustainability optimisation of industrial biotechnology. Computational and Structural Biotechnology Journal, 19, 4770-4776. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.08.034

Stephen, A. M., Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2006). Food polysaccharides and their applications. In Trends in Food Science & Technology (Second Edi, Vol. 7, Issue 6, pp. 1–712). https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)81250-7

Tarafdar, A., Sirohi, R., Gaur, V. K., Kumar, S., Sharma, P., Varjani, S., ... & Sim, S. J. (2021). Engineering interventions in enzyme production: Lab to industrial scale. Bioresource technology, 124771. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124771

Tocher, D. R., Betancor, M. B., Sprague, M., Olsen, R. E., & Napier, J. A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: Bridging the gap between supply and demand. Nutrients, 11(1), 1–20. https://doi.org/10.3390/nu11010089

Transparency Market Research. (2017). Food hydrocolloids market - global industry analysis size share growth trends and forecast 2017 - 2025. Transparency Market Research.

Unal, D. N., Yıldırım, S., Kurbanoglu, S., & Uslu, B. (2021). Current trends and roles of surfactants for chromatographic and electrochemical sensing. TrAC – Trends in Analytical Chemistry, 116418. https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116418

Vachher, M., Sen, A., Kapila, R., & Nigam, A. (2021). Microbial therapeutic enzymes: A promising area of biopharmaceuticals. Current Research in Biotechnology, 3, 195-208. https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2021.05.006

Vala, A. K., Dudhagara, D. R., Dave, B. P. (2018). Process centric and data centric strategies for enhanced production of l asparaginase—an anticancer enzyme, using marine derived Aspergillus niger. Journal of Chemometrics, 32(7), e3024. https://doi.org/10.1002/cem.3024

Wang, B., Song, Q., Zhao, F., Han, Y., & Zhou, Z. (2019). Production optimization, partial characterization and properties of an exopolysaccharide from Lactobacillus sakei L3. International Journal of Biological Macromolecules, 141, 21-28. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.241

Webb, P., Benton, T. G., Beddington, J., Flynn, D., Kelly, N. M., & Thomas, S. M. (2020). The urgency of food system transformation is now irrefutable. Nature Food, 1(10), 584–585. https://doi.org/10.1038/s43016-020-00161-0

Wehaidy, H. R., Wahab, W. A. A., Kholif, A. M., Elaaser, M., Bahgaat, W. K., & Abdel-Naby, M. A. (2020). Statistical optimization of B. subtilis MK775302 milk clotting enzyme production using agro-industrial residues, enzyme characterization and application in cheese manufacture. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 25, 101589. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101589

Wehaidy, H. R., Wahab, W. A. A., Kholif, A. M., Elaaser, M., Bahgaat, W. K., & Abdel-Naby, M. A. (2020). Statistical optimization of B. subtilis MK775302 milk clotting enzyme production using agro-industrial residues, enzyme characterization and application in cheese manufacture. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 25, 101589. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101589

Yahya, N. A., Attan, N., & Wahab, R. A. (2018). An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. Food and bioproducts processing, 112, 69-85. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.002

Yellapu, S. K., Bharti, Kaur, R., Kumar, L. R., Tiwari, B., Zhang, X., & Tyagi, R. D. (2018). Recent developments of downstream processing for microbial lipids and conversion to biodiesel. Bioresource Technology, 256, 515–528. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.129

Yildiz, H., & Karatas, N. (2018). Microbial exopolysaccharides: Resources and bioactive properties. Process Biochemistry, 72(June), 41–46. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.06.009

Yupanqui-Mendoza, S. L., de Arruda, P. V., & da Silva, G. M. C. (2022). Statistical sequential optimization of process parameters for inulinase production by Kluyveromyces marxianus ATCC 36907 in solid-state fermentation using beer residue. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 39, 102252. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102252

Zhu, Q. (2015). Commercial Production of Omega-3 Eicosapentaenoic Acid By Metabolic Engineering of an Oleaginous Yeast, Yarrowia Lipolytica. https://aiche.confex.com/aiche/2015/webprogram/Paper436770.html

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.007

CAPÍTULO 7

EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS: PRINCIPAIS MATERIAIS, PROCESSOS DE FABRICAÇÃO, MERCADO E INOVAÇÕES

Fabiana Helen dos Santos [a,b], Danielle Cristine Mota Ferreira [a,c], Amanda Lélis de Souza[a], Franciele Maria Pelissari [a,*]

Resumo

Utilizada desde os primórdios, as embalagens de alimentos são recipientes que possuem a função de conter e proteger o produto de forma a prolongar sua vida útil e garantir a segurança do consumidor. Ao decorrer da evolução humana e tecnológica, as embalagens passaram a desempenhar concomitantemente novas funções, como veicular informações do produto e trazer comodidade aos consumidores. Produzidas essencialmente por materiais celulósicos, vidro, metais, polímeros e também pela combinação de um ou mais destes materiais, o setor das embalagens movimenta atualmente mais de US$ 500 bilhões. Na contemporaneidade, graças ao baixo custo e alta aplicabilidade, os polímeros são os materiais mais utilizados. Entretanto, a dificuldade em reciclar a maioria destes materiais sintéticos tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais e embalagens que diminuam o impacto do seu uso ao meio ambiente, como por exemplo, as embalagens biodegradáveis e sustentáveis. Estes tipos de embalagens são exemplos de inovações do setor que vêm ocorrendo desde o século XX. Outros exemplos são as embalagens ativas e inteligentes, que respectivamente proporcionam a interação da embalagem com o alimento e trazem informações relevantes do produto ao consumidor. Embora nos últimos anos essas inovações venham ganhando grandes proporções, pesquisas em diversas áreas ainda são realizadas (como na nanotecnologia e engenharia de superfície), de forma a melhorar ainda mais as funções e aplicações das embalagens. Neste contexto, o presente capítulo visa trazer um breve histórico do desenvolvimento das embalagens desde suas primeiras utilizações até os dias atuais, discutir as principais funções associadas a este produto, descrever os materiais e processos utilizados para a fabricação das embalagens, e por fim, informar sobre as inovações desenvolvidas neste setor nos últimos anos.

Palavras-chaves: Envoltório; Proteção; Conservação; Desenvolvimento; Inovação.

[a]Laboratório de Materiais Verdes, Engenharia de Alimentos, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, CEP 39100-000, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.
[b]Laboratório Tecnologias Emergentes, Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, CEP 13083-862, Campinas, São Paulo, Brasil
[c]Laboratório de Estudo de Materiais Alimentares, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

*email: franciele.pelissari@ict.ufvjm.edu.br (F.M. Pelissari).

INTRODUÇÃO

No período pré-histórico, o armazenamento e os meios de conservação dos alimentos eram quase inexistentes, visto que a maioria dos indivíduos se alimentava com o que conseguia encontrar nas proximidades do ambiente em que estavam instalados naquele momento. No entanto, com a instauração de vilarejos, comunidades e cidades, e com a necessidade de se ter alimentos em épocas de difícil plantio ou caça, formas de conter, armazenar e proteger os alimentos foram tornando-se necessárias. Assim, surgiram as embalagens alimentícias (Berger, 2005; Risch, 2009).

As embalagens alimentícias são caracterizadas pela ampla variedade de formas, modelos, e, além disso, por possuírem uma grande quantidade de definições. De acordo com Associação Brasileira de Embalagem (ABRE, 2019), a embalagem é um recipiente ou envoltura que armazena produtos temporariamente, individualmente ou agrupando unidades, e tem como principal função protegê-lo e promover a extensão da sua vida útil (shelf life), viabilizando sua distribuição, identificação e consumo. Já para Jorge (2013), as embalagens podem ser definidas como um meio de assegurar o envio de produtos ao consumidor final, em condições ótimas e a baixo custo. Robertson (2018) por sua vez, define a embalagem como o material utilizado para realizar o envolvimento, aprimoramento e proteção dos produtos que compramos, desde o processamento até o consumidor final.

Atualmente, inúmeros materiais, tecnologias e dispositivos são aplicados no setor de embalagens, entretanto, a realidade vivida no início da sua utilização foi completamente diferente. Nos tempos pré-históricos apenas materiais naturais estavam disponíveis e eram utilizados para envolver e armazenar os alimentos, destacando-se as folhas, conchas grandes, chifres ocos, partes de animais (peles, crânios e bexigas), cascas secas de vegetais e também cascas de frutas, como o coco (Gupta & Dudeja, 2017; Sousa et al., 2012). De acordo com Paine e Paine (1992), as folhas de grandes plantas eram utilizadas para embrulhar as carnes provenientes da caça, enquanto as peles de animais permitiam

armazenar e transportar os produtos líquidos, como por exemplo, a água. Posteriormente, algumas matérias-primas foram também utilizadas para confeccionar embalagens mais aperfeiçoadas para época. Exemplos clássicos destas embalagens que podem ser encontradas ainda nos tempos atuais, são: cestas de palha, caixas e barris de madeira, sacos de tecido e vasos de cerâmica e argila (Gupta & Dudeja, 2017).

Não existe uma data exata para o surgimento das embalagens, mas provavelmente foram criadas pelos primeiros habitantes da terra para facilitar o transporte e o armazenamento dos alimentos fundamentais para a sobrevivência (Sousa et al., 2012). Segundo Gupta e Dudeja (2017), o Egito parece ter sido o pioneiro na produção das embalagens alimentícias. A primeira evidência de embalagens neste país data-se de 7000 a.C. onde há relatos da produção de embalagens de cerâmica e vidro (Risch, 2009). No decorrer da antiga época egípcia, além dos indícios de armazenamento de alimentos utilizando cerâmica e/ou vidro, há também em torno de 3000 a.C. indicativos da utilização de cera de abelha para selar recipientes contendo alimentos, protegendo-os de insetos, roedores, microrganismos e até mesmo do próprio oxigênio (Trinetta, 2016). Jorge (2013) ainda relata que foram os egípcios os primeiros povos a utilizarem o papel, uma das principais matérias-primas utilizadas na confecção de embalagens até hoje. Porém, o início da fabricação industrial deste material é atribuído aos chineses.

Relatos sobre o desenvolvimento e uso de novas embalagens até o final do século XIII são bem escassos. A criação e desenvolvimento destes produtos ganhou impulso justamente neste período, devido a Revolução Industrial. A Revolução Industrial permitiu que diversos produtos deixassem de ser produzidos artesanalmente para serem produzidos em série (Negrão & Camargo, 2008). Além disso, de acordo com Risch (2009), houve nesta época o desenvolvimento de novos processos de fabricação, novos materiais e a expansão do comércio, o que consequentemente proporcionou o progresso das embalagens alimentícias.

A Guerra Napoleônica que ocorreu no início do século XIX foi outro importante período para o setor de embalagens, visto que desencadeou a criação da técnica de apertização. Esta técnica foi desenvolvida por Nicolas Appert e tinha como objetivo preservar por meio de um tratamento térmico, os alimentos já embalados (Trinetta, 2016). Inicialmente, o processo era realizado em recipientes de vidro, no entanto, devido a fragilidade deste material a altas temperaturas, estes foram substituídos por latas de metal (Risch, 2009). Segundo Jorge (2013) foi justamente nesta época que as embalagens metálicas, principalmente as de ferro-estanho, tiveram maior desenvolvimento.

Já na Primeira Guerra Mundial, no início do século XX, o crescimento considerável do uso de latas com estanho e aço elevou o preço das latas de folha-de-flandres, e consequentemente fez com que os fabricantes de latas começassem a procurar novos materiais para competir com este tipo de produto, surgindo assim, as latas de alumínio (Sousa et al., 2012).

Outro marco importante na indústria de alimentos refere-se à utilização de materiais plásticos como embalagens. Os plásticos, incluindo o nitrato de celulose, o estireno e o cloreto de vinila, foram descobertos por volta de 1800, no entanto, até meados do século XX

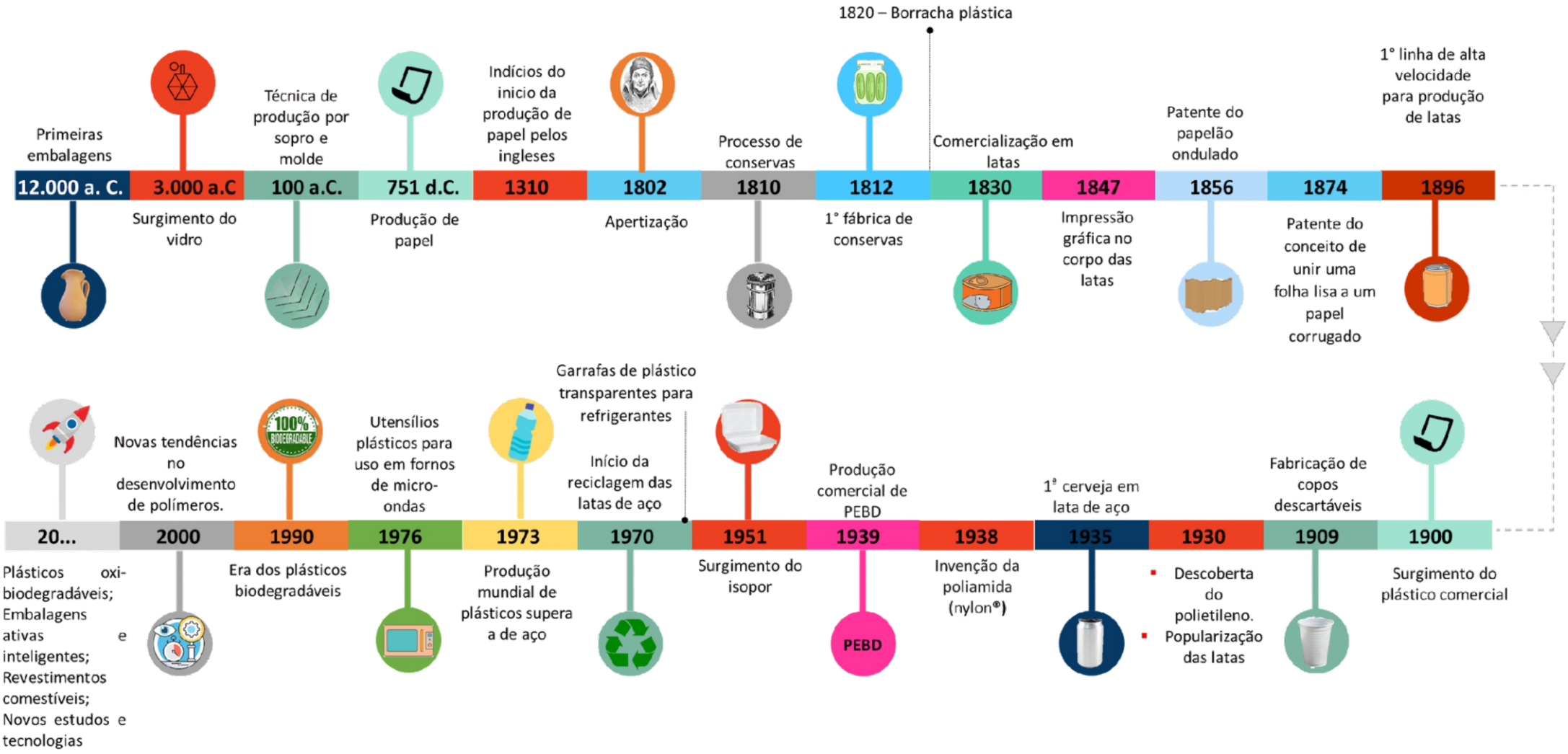
não foram usados em nenhum tipo de embalagem. Após a Segunda Guerra Mundial, devido às necessidades que foram surgindo, diversos materiais desenvolvidos para serem aplicados apenas na guerra começaram a ser utilizados no setor de embalagens, incluindo os plásticos (Risch, 2009). Apesar da utilização tardia destes polímeros, este material tornou-se um dos mais importantes nos últimos anos por causa da sua grande variedade e aplicabilidade (Berger, 2005).

O século XX impulsionou melhorias significativas no setor de embalagens de alimentos. Entre essas melhorias inclui-se a utilização de processamento asséptico em embalagens, desenvolvimento de recipientes flexíveis e reutilizáveis, elaboração de materiais para uso em micro-ondas e também a criação de sistemas de embalagens ativas, inteligentes, recicláveis e biodegradáveis (Trinetta, 2016).

Com o tempo, foi preciso criar novos materiais e técnicas mais eficientes para as embalagens, fazendo com que os processos de produção evoluíssem do artesanal para o industrial. Além disso, com toda a evolução da sociedade e das atividades econômicas, novas funções foram sendo incorporadas a este produto. Além de conservar, expor e vender o alimento, também passou a conquistar o consumidor por meio de sua conveniência e do seu visual atraente e comunicativo (Mestriner, 2004).

A seguir, a Figura 1 resume os principais acontecimentos da história das embalagens no mundo, e estes acontecimentos são detalhados posteriormente na Tabela 1.

Figura 1 – História das embalagens



Fonte: Digimarc (2017); Ohionline (2017).

Tabela 1 – Fatos marcantes na história das embalagens

Ano	Acontecimento
12000 a.C.	Surgimento das primeiras embalagens - Compostas de materiais naturais disponíveis na época, como couro, entranhas de animais, frutos, folhas e outras fibras vegetais. Primeiramente, eram utilizadas para beber e estocar e, posteriormente, para realizar o transporte de água e alimentos durante as migrações.
3000 a.C.	Dados apontam o surgimento do vidro utilizado como recipientes de óleos, perfumes e cosméticos, de forma artesanal pelos egípcios.
100 a.C.	Vidreiros passaram a dominar a técnica de produção por sopro e molde levando a produção de recipientes com capacidades volumétricas e formatos diferentes em larga produção.
751	Surgimento do papel – Produção de papel a partir de fibras de linho em pequena escala pelos chineses. A técnica foi aprendida e difundida pelos árabes.
1310	Indícios do início da produção de papel pelos ingleses.
1760	Inicia-se na Inglaterra a Revolução Industrial, e a partir daí as primeiras embalagens decoradas através da impressão litográfica em papel e posteriormente em latas.
1802	A ideia de colocar alimentos com segurança em embalagens de metal foi realizada pela primeira vez em 1802, quando Napoleão Bonaparte ofereceu dez mil francos para quem encontrasse um método para proteger o abastecimento de comida para o exército francês. Nicolas Appert, de Paris, demonstrou que a lata de aço pressionada com estanques apresentava capacidade de preservar o alimento depois de ser esterilizada. Um ano depois, o inglêsPeter Durant ganhou o direito de patentear a lata cilíndrica.
1810	Peter Durant patenteou o processo de conservas em recipientes de ferro e estanho.
1812	Aberta, na França, a primeira fábrica de conservas para o mercado consumidor.
1818	As latas de ferro e estanho são consideradas revolucionárias para embalar alimentos.
1820	Thomas Hancock (Inglaterra) descobre que a borracha vigorosamente plastificada se torna plástica e capaz de fluir.
1830	As latas se espalham pela Europa em ervilhas, atomatados e sardinhas.
1835	Regnault relata a produção, até então inédita, de cloreto de vinila, monômero do PVC.
1847	Invenção da máquina para impressão gráfica no corpo das latas.
1856	Dois ingleses, Healey e Allen, obtiveram uma patente para o primeiro uso conhecido de papelão ondulado.

Continua

Continuação

Ano	Acontecimento
1874	Nos Estados Unidos, Olivier Long patenteou o conceito de unir uma folha lisa a um papel corrugado para fortalecer esse material.
1895	Os europeus desenvolveram suas máquinas de produção de papelão ondulado em nível de empresa. A primeira onduladeira foi desenvolvida por Jefferson T. Ferres da Sefton CIA. Industrial.
1896	Desenvolvida a primeira linha de alta velocidade para produção de latas.
1900	Surgimento do plástico comercial - Substituindo o marfim dos elefantes, os cascos e chifres bovinos. Surge a Baquelite®, primeira forma comercial de plástico totalmente sintético – em uso até hoje, tendo como apelo sua versatilidade e modernidade.
1907	O americano Léo Bakeland possibilita a fabricação de embalagens a partir do plástico.
1908	Charles Frederick Cross inventa o celofane, mistura de acetato de celulose e viscose rayon.
1909	Hugh Moore funda a Dixie Cup Co., fabricante de copos descartáveis, especialmente para atender a uma lei promulgada no estado de Kansas (EUA), a qual proibia o uso de xícaras comunitárias em trens. Seu objetivo era restringir a disseminação de doenças como a tuberculose.
1930	Descoberta do polietileno. As latas se tornam embalagens populares.
1935	Surge a primeira cerveja em lata de aço.
1938	Invenção da poliamida (nylon®).
1939	A Imperial Chemical Industries (ICI), da Inglaterra, inicia a produção comercial de polietileno de baixa densidade.
1942	Produção em larga escala do polietileno.
1951	Desenvolvimento do processo para produção de poliestireno expandido, material mais conhecido pelo nome comercial de isopor.
1960	Surgimento da lata de 2 peças nos Estados Unidos.
1970	Consciência ambiental: início da reciclagem das latas de aço. A Coca-Cola inicia testes de mercado usando garrafas de plástico transparentes.
1973	A produção mundial de plásticos supera a de aço, tomando como base o volume de material fabricado.
1976	São lançados no mercado, utensílios de plástico para uso em fornos de micro-ondas.
1990	Começa a era dos plásticos biodegradáveis: a Warner Lambert desenvolve o Novon, resina a base de amido; a I.C.I. lança o Biopol.

Continua

Continuação

Ano	Acontecimento
2000 – dias atuais	Novas tendências no desenvolvimento de polímeros. O desenvolvimento de resinas a partir do zero se torna bem mais raro, sendo a ênfase atual a formulação de polímeros já existentes de forma a se obter materiais com propriedades otimizadas. O plástico se torna, segundo a ONU Meio Ambiente, o maior desafio ambiental do século XXI. Nesse contexto, estudos se voltam para o estudo e produção de embalagens sustentáveis, feitas a partir de material orgânico e/ou recicláveis, que não demandam muita energia e recursos naturais em sua produção e que, após o seu descarte, tenham impactos ambientais reduzidos. Entre os exemplos destacam-se as embalagens biodegradáveis, comestíveis e os plásticos oxi-biodegradáveis. Desenvolvimento de novas tecnologias. Surgimento das embalagens ativas e inteligentes, que tem como objetivo principal contribuir para o aumento da vida útil dos alimentos ou permitir a identificação das alterações fisiológicas e deteriorações que os alime ntos podem sofrer.

Fonte: Digimarc (2017); Ohionline (2017).

2. IMPORTÂNCIA DAS EMBALAGENS

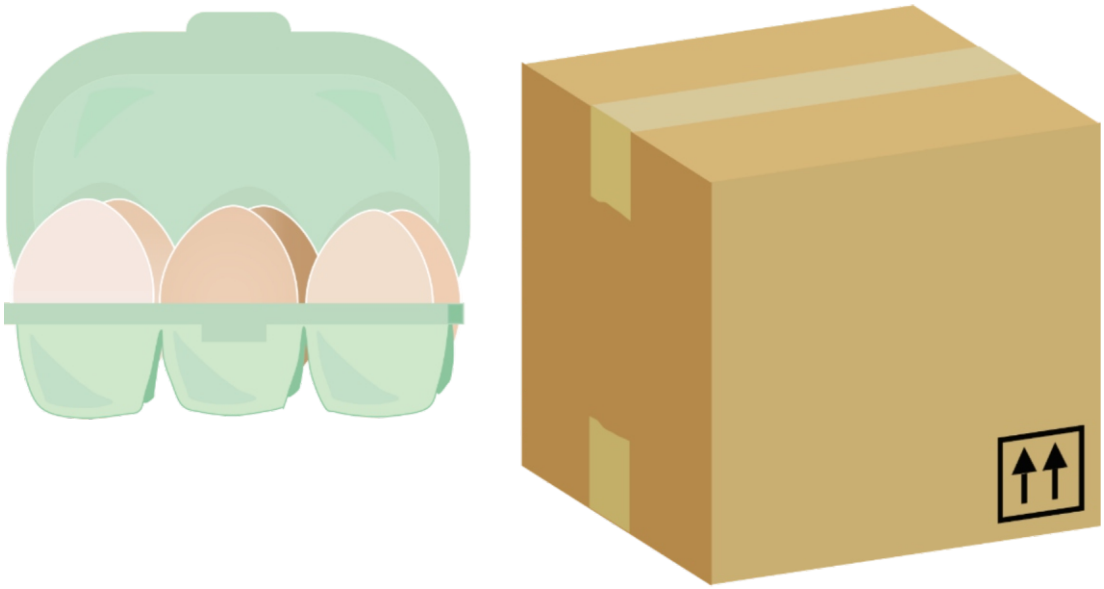
Com intuito de preservar a qualidade de alimentos frescos e processados, a embalagem de alimentos é de suma importância. O uso de embalagens permite reduzir a perda de muitos produtos alimentícios, o que facilita a produção em larga escala e ainda possibilita a eficiência na distribuição destes produtos. Dentre as principais funções das embalagens tradicionais, estão incluídas a proteção, contenção, comunicação e informação sobre o produto, e conveniência (Biji, Ravishankar, & Mohan, 2015).

2.1 Proteção

Considerada como a principal função da embalagem, sua finalidade é proteger os alimentos de deteriorações químicas, microbiológicas e físicas, o que consequentemente prolonga a vida útil e garante a qualidade e a segurança do alimento por mais tempo (Robertson, 2010). Para a maioria dos alimentos, a proteção oferecida pela embalagem é uma parte essencial na cadeia de processo do produto (Robertson, 2018). Na Figura 2 são exemplificadas embalagens que exercem papel fundamental de proteção na cadeia de transporte e comercialização de produtos alimentícios. No caso da embalagem de ovos, essa tem papel de amortecimento contra agentes mecânicos nas etapas de embarque, transporte e desembarque nos centros de distribuição. A segunda embalagem, geralmente

utilizada como embalagem secundária ou terciária no setor de alimentos, protege o produto e a embalagem primária, auxiliando no transporte e armazenamento.

Figura 2 – Embalagens alimentícias com papel principal de proteção na cadeia de alimentos



A diversidade na composição, estrutura e fisiologia de alimentos frescos e processados exige níveis variados de proteção em toda a cadeia de fornecimento. Fatores extrínsecos como temperatura, umidade relativa, luz, pressão total e parcial e injúrias mecânicas, podem afetar diretamente a vida de prateleira do alimento. Através da utilização de embalagens, é possível obter um efeito significativo perante a estes fatores extrínsecos e, consequentemente, sobre as taxas das reações deteriorantes, visto que a embalagem consegue fornecer proteção contra microrganismos, insetos e roedores e proteção contra danos mecânicos, choques e vibrações durante o transporte e distribuição (Coles, 2011). Segundo Fellows (2017), a embalagem fornece um espectro de barreiras que isolam o alimento a um grau predeterminado do ambiente, são essas barreiras as grandes responsáveis pela proteção do produto embalado em relação aos fatores extrínsecos.

2.2 Contenção

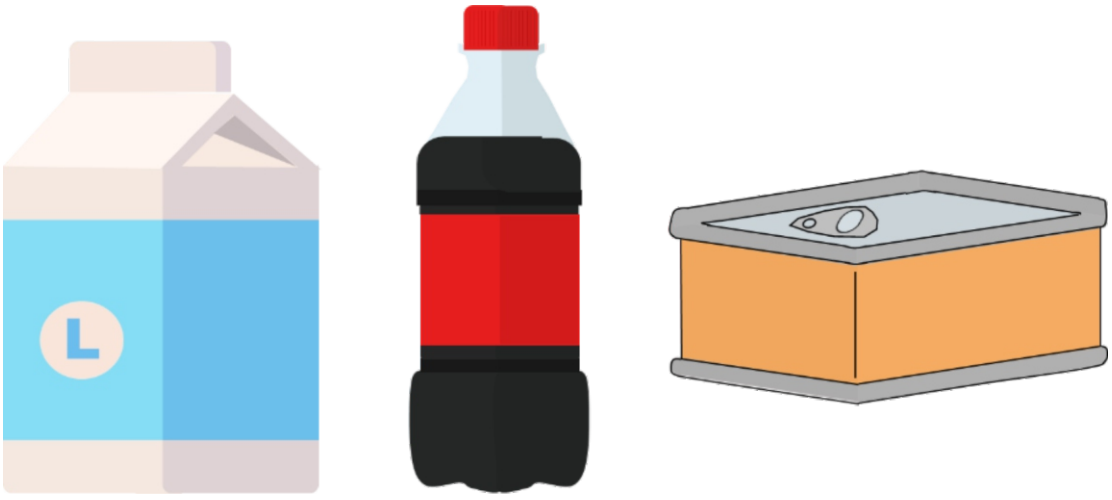
Uma das funções básicas da embalagem é conter os produtos alimentícios em materiais específicos que facilitem o transporte e a distribuição em toda a cadeia de suprimentos, visando beneficiar todos os integrantes do processo (desde produtores até consumidores) e evitar as perdas do produto durante as etapas do processamento, armazenamento e distribuição.

Sem a utilização de embalagens, a ação de fatores ambientais poderia ocasionar inúmeras perdas de produtos alimentícios, além disso, sem sua utilização não seria possível haver o transporte dos produtos líquidos (Wani, Singh, & Langowski, 2013).

A função de contenção das embalagens nem sempre é alcançada satisfatoriamente, em alguns casos o vazamento dos produtos pode ocorrer, especialmente em torno dos fechos e selos (Robertson, 2018). Desta forma, para evitar estes problemas e garantir a eficiência da função, a atenção deve ser redobrada na escolha do material da embalagem e no processo de envase ou enchimento do produto.

A Figura 3 apresenta embalagens cuja principal função é conter os produtos alimentícios, sejam eles líquidos ou sólidos.

Figura 3 – Embalagens cuja função principal é conter alimentos



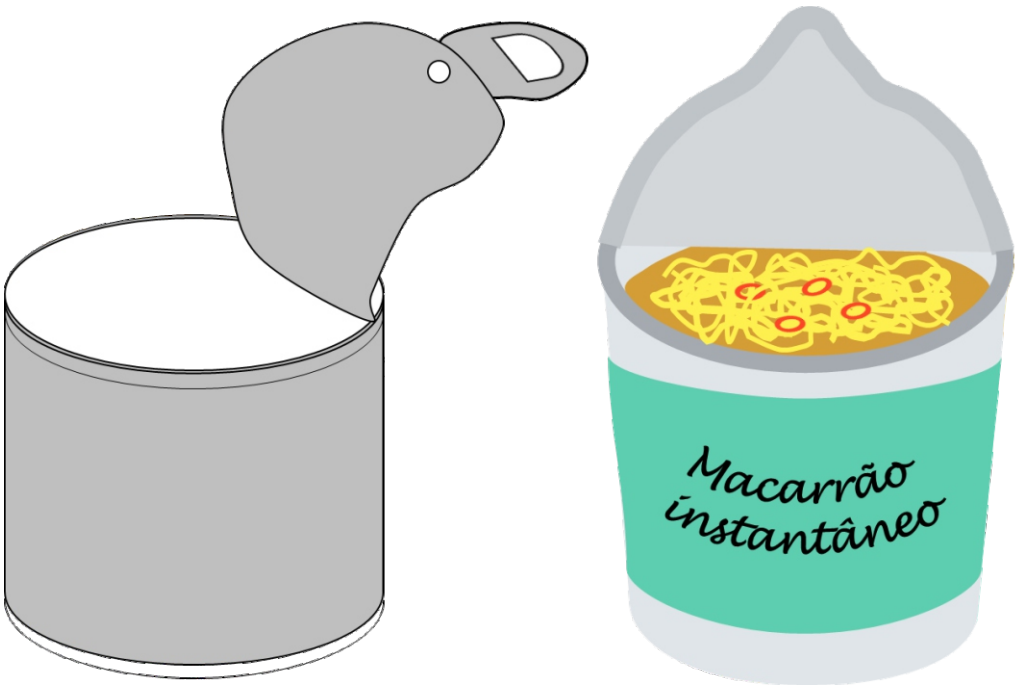
2.3 Conveniência

Com a mudança nos estilos de vida, avanços na industrialização e jornadas de trabalho mais longas, os consumidores tornaram-se cada vez mais exigentes. Tal exigência fez com que a indústria de alimentos e o setor de embalagens encontrassem soluções inovadoras que proporcionassem conveniência aos consumidores, ou seja, maior comodidade (Wani et al., 2013).

Nos últimos anos, diversas inovações foram criadas ou inseridas nas embalagens de alimentos a fim de facilitar a vida do consumidor. Algumas dessas inovações são: inserção do mecanismo de abertura fácil nas embalagens e utilização de tampas dosadoras (tampas que possibilitam o fechamento do produto entre as utilizações) (Jorge, 2013). De acordo com Robertson (2018), um alimento ou bebida que não é totalmente consumido quando

aberto pela primeira vez, deve apresentar um sistema que permite que a embalagem seja selada novamente, mantendo a qualidade do produto até que ele seja completamente utilizado. Outras conveniências que surgiram e que são utilizadas para facilitar o dia-a-dia do consumidor, são: abertura fácil (Figura 4a); aquecimento/cocção na própria embalagem (Figura 4b); materiais que podem ser levados em fornos micro-ondas e combinação de produtos diferentes na mesma embalagem; como iogurte e cereais (Jorge, 2013). Estas inovações são de fácil manipulação e permitem que o consumidor economize tempo em dias atribulados.

Figura 4 – (a) Embalagem de fácil abertura e (b) embalagem com possibilidade de aquecimento do produto no seu interior



2.4 Comunicação

A função de comunicação da embalagem envolve a transferência de informações específicas sobre um determinado produto e seu fabricante para possíveis compradores, a fim de incentivá-los a comprá-lo e informá-los sobre suas características. O conceito de comunicação deve ser entendido como informação, educação e promoção de um produto (Wyrwa & Barska, 2017).

A embalagem também constitui-se como o veículo de informação sobre o produto, devendo trazer tanto informações relevantes e obrigatórias para o consumidor (identificação do produto com nome, tipo e marca, prazo de validade, informações nutricionais, quantidade, origem e dados do fabricante, entre outros) como mostrado na Figura 5, quanto para os diferentes elementos de sua cadeia de distribuição e venda (gestão de estoques, instruções de armazenamento e de manuseio, preço e rastreabilidade do produto) (Jorge, 2013). Além disso, se comporta como um vendedor silencioso, trazendo informações de interesse do consumidor que vão muito além do produto que está sendo comercializado, como por exemplo, dicas de saúde e entretenimento (Negrão & Camargo, 2008; Sousa et al., 2012).

Figura 5 – Embalagem contendo informações obrigatórias (nome e tipo do produto, informações nutricionais, quantidade, data de validade e fabricação e dados do fabricante)



Segundo Trinetta (2016), a embalagem é a face do produto, ela é responsável por repassar informações importantes sobre os alimentos, mas também ajuda os consumidores a tomarem decisões promovendo a concorrência e a escolha do mercado.

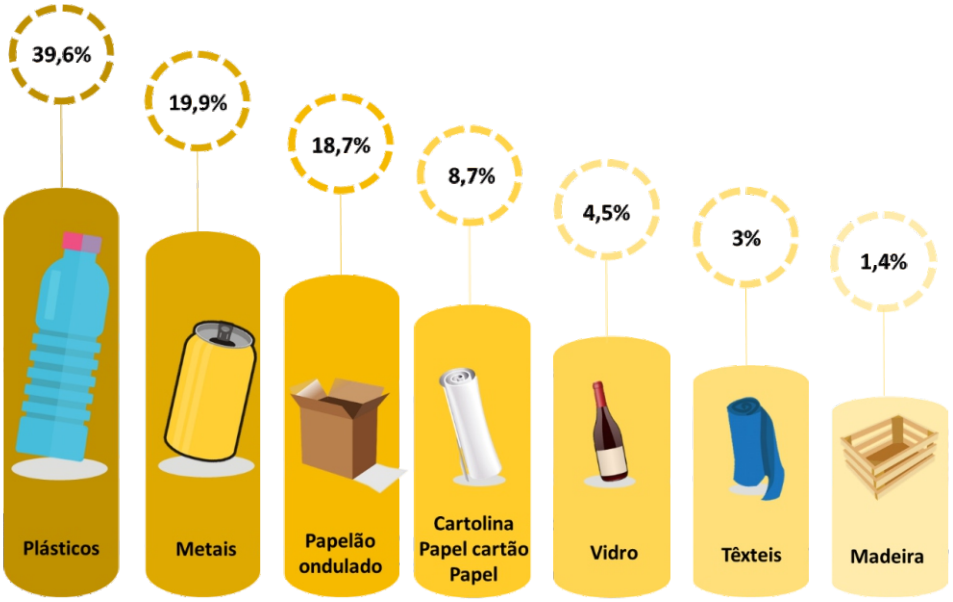
3. MERCADO ECONÔMICO DAS EMBALAGENS ALIMENTÍCIAS

As embalagens são utilizadas por uma ampla variedade de setores industriais e mundialmente movimentam mais de US$ 500 bilhões, representando cerca de 1 a 2,5% do Produto Interno Bruto (PIB) de cada país (Gorgulho & Verde, 2018). De acordo com a pesquisa realizada pela empresa *Smithers Pira* em 2019 estima-se que a demanda por embalagens em todo o mundo cresça de forma constante 2,9% ao ano, o que possibilita prever que a indústria de embalagens valerá até US$ 980 bilhões em 2022 (Parker, 2020).

Segundo os relatórios anuais mais recentes das empresas, no ano de 2019, as dez maiores multinacionais no setor de embalagens, por receita, foram a International Paper Company, WestRock, Tetra Laval, Oji Holdings, Amcor, Stora Enso, Crown Holdings, Ball Corporation, Smurfit Kappa Group e Reynolds Group Holdings (Parker, 2020). Destas empresas citadas, a International Paper Company, Tetra Laval, WestRock, Amcor,Ball Corporation, e Smurfit Kappa Group são aquelas que estão presentes no Brasil. Além dessas 5 empresas, cerca de outras 777 também atuam no país, sendo a maioria empresas do segmento plástico (Sarantópoulos & Rego, 2012).

A indústria brasileira de embalagens agrupa empresas nacionais e multinacionais com operações globais capazes de atender aos diferentes setores do mercado, cujas cadeias produtivas bem estruturadas incluem diversos departamentos, tais como fabricantes de máquinas e equipamentos para a produção das embalagens e para o processo de envase dos produtos; fabricantes de matérias-primas, insumos e acessórios; fabricantes de recipientes e empresas de transporte e logística (Gorgulho & Verde, 2018). De acordo com a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE, 2021), estima-se que o setor de embalagens do Brasil movimentou mais de R$ 92,9 bilhões em 2020, um aumento de 22,3% em relação aos R$ 75,9 bilhões alcançados em 2019. Tal aumento foi favorecido pelo comércio online e pelo consumo de alimentos, apoiado pelo auxílio emergencial, durante a pandemia de COVID-19. A maior participação no valor da produção das embalagens está representada pelos materiais plásticos, cujo valor corresponde a 39,6% do total (o que equivale aproximadamente R$ 36,83 bilhões). Em seguida está o setor de embalagens celulósicas que representa 31,6%, metálicas com 19,9%, vidro com 4,5%, têxteis (3%) e madeira com 1,4% (FIG. 6) (ABRE, 2021).

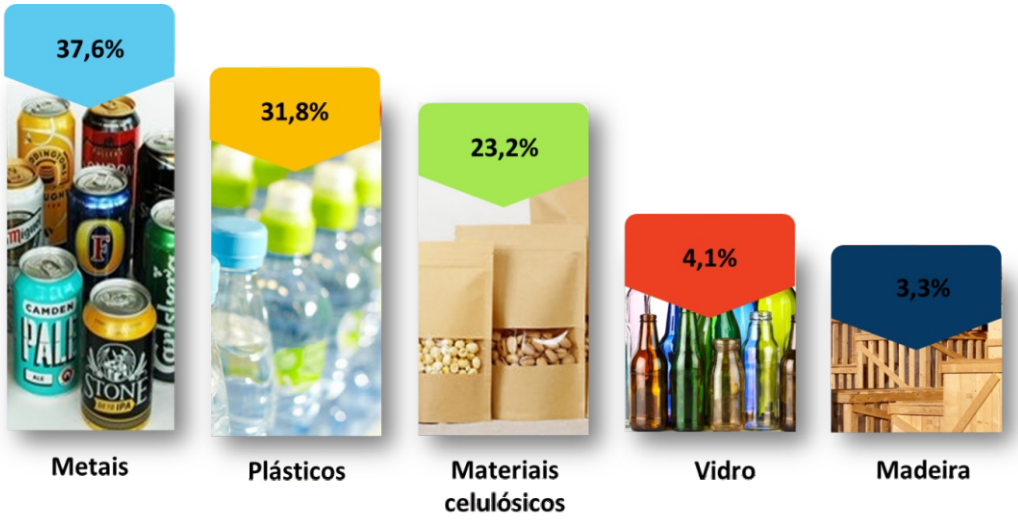
Figura 6 – Valor bruto da produção de embalagens no mercado econômico brasileiro no ano de 2020



Fonte: Adaptado da ABRE (2021).

Em relação ao setor de exportações de embalagens no Brasil, este obteve um faturamento de aproximadamente US$ 520,4 milhões no ano de 2020, o que representou uma queda de 4,8% em relação ao ano de 2019, que alcançou um valor de US$ 545,4 milhões (ABRE, 2020; ABRE, 2021). Como pode ser observado na Figura 7, o maior segmento de exportação refere-se às embalagens metálicas com 37,6% do total exportado no ano de 2020, seguido pelas embalagens plásticas com 31,8%, embalagens celulósicas com 23,2%, materiais em vidro com 4,1% e por último estão as exportações de embalagens de madeira com 3,3% (ABRE, 2021).

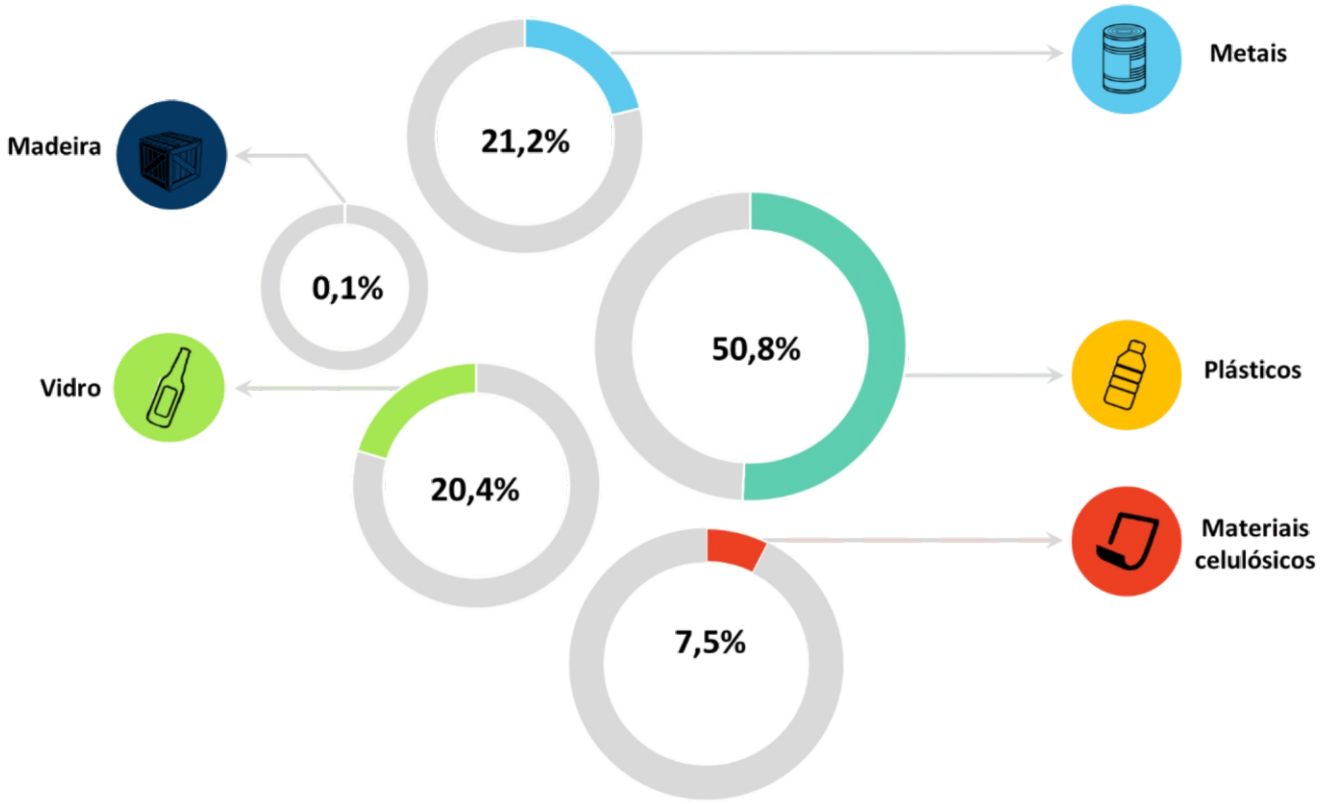
Figura 7 – Valor em porcentagem de cada segmento no setor de exportação de embalagem no Brasil no ano de 2020



Fonte: Adaptado da ABRE (2021).

Ainda de acordo com os dados da ABRE (2021), o setor de importações no Brasil, em 2020, teve uma pequena queda de 0,8%, sendo as embalagens de madeira as menos importadas (0,1%) e as plásticas, as mais importadas (50,80%) (FIG. 8).

Figura 8 – Valor em porcentagem de cada segmento no setor de importação de embalagem no Brasil no ano de 2020



Fonte: Adaptado da ABRE (2021).

As indústrias de alimentos e bebidas, segundo o estudo realizado pela ABRE (2019), são as maiores usuárias de embalagens no Brasil, seguida pela indústria do fumo, vestuários e acessórios, couro e calçados e as indústrias farmacêuticas. De acordo com Sarantópoulos e Rego (2012), em 2010 os segmentos de alimentos e bebidas foram responsáveis respectivamente pela venda de 51% e 18% das embalagens produzidas mundialmente, respectivamente.

Como observado pelos dados dispostos até então, percebe-se que o segmento das embalagens plásticas tem se destacado nos últimos anos em todos os setores, seja pela sua maior produção física, ou pelo maior número de importação e exportação. Tal fato está relacionado principalmente ao seu baixo peso, baixo custo, elevada resistência mecânica e

química e a sua flexibilidade em relação aos demais materiais (Landim et al., 2016). No entanto, a sustentabilidade tem sido um dos focos da indústria de embalagens nas últimas décadas. Com a crescente conscientização quanto ao uso de recursos naturais, busca-se, cada vez mais, produzir embalagens mais alinhadas com o contexto atual, que confiram proteção aos materiais embalados, mas também se encaixem no conceito de sustentabilidade em toda sua cadeia produtiva. Nesse contexto, destaca-se a indústria de reciclagem, que vê as embalagens tradicionais como potenciais fontes de recurso para produção de novos materiais (Gorgulho & Verde, 2018).

As embalagens sustentáveis vêm como uma opção de embalagem que não degrada a natureza para satisfazer às necessidades da presente geração, ou seja, não compromete as necessidades das gerações futuras. Incluem-se nesta categoria, as embalagens recicláveis, polímeros verdes e os polímeros biodegradáveis (Landim et al., 2016).

O mercado de embalagens verdes é um mercado emergente, avaliado em US $ 258,74 bilhões em 2019. Acredita-se que continue a apresentar um crescimento significativo nos próximos anos devido à conscientização crescente do consumidor em relação a embalagens sustentáveis, às mudanças nas preferências dos consumidores em relação à conveniência e alimentos embalados, ao crescimento da indústria de alimentos e bebidas, que adota cada vez mais embalagens feitas de materiais degradáveis e recicláveis, e às crescentes proibições governamentais em países em todo o mundo relacionados com os plásticos de uso único (GVR, 2021; Prasad, 2016).

4. PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS

Um dos elementos fundamentais na estruturação de uma embalagem é o seu material. Os materiais mais utilizados em embalagens para fins alimentícios incluem o papel, o vidro, metais, plásticos e os materiais compostos (laminados de alumínio, plásticos e papel). A escolha do material de embalagem é imprescindível para garantir que o produto esteja seguro no transporte, pontos de venda e pós-venda. Além disso, deve estar alinhada à outros fatores, tais como necessidade, percepção do consumidor e conveniência, custo e disponibilidade do material, segurança do produto, respeito ao meio ambiente e alinhamento às regulamentações governamentais, características intrínsecas da cadeia de distribuição, branding e marketing, entre outros (Welt, 2005).

Através da Tabela 2 é possível observar e comparar as principais propriedades dos diferentes materiais usados nas embalagens, o que pode facilitar a escolha da sua destinação.

Tabela 2 – Comparação entre os principais materiais usados em embalagens para alimentos

Propriedade	Papel	Vidro	Metal	Plástico
Mecânica	Boa rigidez, não-frágil	Rígido, frágil	Rígido, boa força elástica	Geralmente apresenta baixa rigidez, ou pode ser semi-rígido e flexível. Resistente à tração e a quebra variável.
Barreira	Pobre quando revestido ou laminado	Perfeita barreira a gases, vapor, micro e macro organismos	Excelente barreira a gases, vapor, micro e macro organismos	Ampla variedade de propriedades de barreira
Ótica	Opaco	Transparente	Opaco	Ampla variedade de propriedades óticas
Térmica	Não selável a quente; pode ser aquecido a altas temperaturas em micro-ondas	Resistente a altas temperaturas	Resistente a altas temperaturas	Ampla variedade de temperaturas
Peso	Leve	Pesado	Pesado	Médio
Reciclabilidade	Reciclável; geralmente o papel reciclado não é usado para fins alimentícios	Reciclável, podendo ser usado em aplicações alimentícias	Reciclável; podendo ser usado em aplicações alimentícias	Reciclável; não há um consenso para aplicações em alimentos

Fonte: Adaptado de Laípuria, Anantherswaran e Floros (2012).

Existe uma ampla variedade de matérias-primas que podem ser empregadas no desenvolvimento de uma embalagem. Cada uma destas matérias-primas - o papel, o plástico, o vidro e o metal – possui propriedades específicas, capazes de originar diversas impressões no consumidor. A escolha de determinada matéria-prima no desenvolvimento de uma embalagem torna-se um componente de distinção, pois esta irá determinar o seu objetivo, o seu custo de produção e a sua inserção no mercado.

4.1 Materiais celulósicos

As embalagens feitas de materiais derivados da celulose são amplamente utilizadas na indústria alimentícia, cumprindo importantes papéis na contenção e distribuição de produtos no mercado interno e externo. Seu surgimento data de aproximadamente dois mil anos, vindo substituir o pergaminho egípcio, que era um material caro e de difícil tratamento. No entanto, a fabricação industrial do papel é atribuída, segundo McMurtrie (1982), ao chinês Ts'ai Lun, no ano de 105 d.C..

No ano 751 d.C., os árabes tomaram conhecimento da invenção, e a partir do século XII, sua fabricação já aperfeiçoada foi introduzida na Europa. No século XVII chegou à América tendo-se tornado conhecido em todo mundo. Entretanto, o uso dos materiais celulósicos em embalagens só foi impulsionado realmente durante os últimos anos do século XIX para atender às necessidades da indústria manufatureira (Campos & Foelkel 2017).

Além de suas características específicas, tais como capacidade de amortecimento, facilidade e qualidade de impressão e maleabilidade, os materiais celulósicos, cuja principal matéria-prima é a celulose, podem ser facilmente reciclados, estando entre os materiais de embalagens com maiores taxas de reciclagem após o uso (Griffin, 1985).

As indústrias de celulose e de papel do Brasil figuram como a 2ª e 10ª maiores, em volume de produção, no ranking de fabricantes mundiais (IBA, 2020). Em relação à recuperação de papel, o Brasil em 2019 apresentou uma taxa de reciclagem de 66,9%, ou seja, 4,9 milhões de toneladas do material retornaram ao processo produtivo (CEMPRE, 2021); além disso, estima-se que a produção de papel reciclado cresça em uma taxa de 1,1% ao ano até 2030 (Farinha e Silva, Bueno, & Neves, 2015).

Segundo a World Wide Fund for Nature (WWF, 2021), uma tonelada de papel reciclado evita o corte de 30 ou mais árvores e reduz de 20 a 50% da energia e mais de 90% da água de processo, além de outras economias relacionadas à poluição atmosférica e uso de recursos naturais. A indústria brasileira de embalagens celulósicas atualmente utiliza fibras provenientes da reciclagem na produção de embalagens secundárias e terciárias, principalmente na forma de papel kraft e papelão (IBA, 2021b). As polpas moldadas, que podem ser obtidas a partir de aparas de materiais celulósicos já utilizados, podem ser utilizadas para embalagens em forma de bandejas para produtos hortifrutigranjeiros (Mary & Lima, 2001).

Nas embalagens celulósicas primárias (aquelas que mantêm contato diretamente com o produto acondicionado) o alimento manterá ligação direta ao material celulósico e aos materiais de revestimento, tais como alumínio e plásticos nas embalagens multicamadas. Nesse caso, as chamadas “barreiras funcionais” visam suprimir qualquer transferência de substância entre o alimento e o material-base. Quando não revestidas, as embalagens celulósicas primárias são geralmente utilizadas para proteção de alimentos de baixa umidade, tais como farinhas. O papel cartão e o papelão ondulado são geralmente utilizados como embalagens secundárias, ou seja, àquelas que não estão em contato direto com o alimento, tendo como funções principais facilitar o transporte e proteger a(s) embalagem(s) primária(s), e consequentemente o alimento, contra possíveis impactos (Leks-Stepien, 2013).

4.1.1 Papel

O papel consiste em uma estrutura de celulose porosa composta de microfibrilas. Quimicamente, a celulose pura é formada por monômeros de glicose ligados através de ligações glicosídicas. Devido ao grande número de átomos polares, tais como oxigênio e hidrogênio, as estruturas lineares formadas pelos monômeros ligam-se intra e inter-molecularmente, através de pontes de hidrogênio, o que fornece rigidez às cadeias de

celulose e permite a criação de estruturas cristalinas tridimensionais altamente ordenadas semelhantes à “folhas”. Tais folhas são empilhadas em camadas compactadas formando as “microfibrilas”. As microfibrilas se agrupam em feixes e os grupos desses feixes formam a folha de papel (Ottenio, Escabasse, & Podd, 2004).

A resistência da folha depende da origem e do tipo de fibra, de como a fibra foi processada, do peso por unidade de área e da espessura (Ottenio et al., 2004). A resistência e a morfologia das fibras têm forte influência no processo de fabricação de papel e na qualidade dos produtos finais. Para um determinado comprimento de fibra, o número de fibras por unidade de massa é inversamente proporcional à aspereza da fibra. Assim, para uma dada gramatura de folha, existem menos fibras por unidade de área e, portanto, menos contatos de fibra por unidade de área da folha, o que implica diretamente na resistência à tração e na maleabilidade do papel. Papéis formados por fibras curtas são geralmente mais maleáveis e indicados para impressão e escrita. Já aqueles constituídos por fibras longas são geralmente mais resistentes (Jorge, 2013, Ottenio et al., 2004).

A natureza hidrofílica da celulose, devido a presença de grupamentos hidroxila (OH) na sua estrutura, e à porosidade da rede de fibras, limita as propriedades de barreira ao vapor de água do papel (Alava & Niskanen, 2006). A embalagem de papel também absorve facilmente a água do ambiente ou dos alimentos, limitando suas propriedades físicas e mecânicas. A migração de umidade pode ocorrer no papel pela difusão do vapor de água através dos espaços vazios, bem como na forma condensada através das paredes das células da fibra (Khwaldia, Arab-Tehrany, & Desobry, 2010).

Comercialmente, diversos tipos de papéis estão disponíveis para atender as necessidades do mercado. Essa disponibilidade de tipos é resultante da natureza da fibra utilizada, sendo ela: branqueada ou não-branqueada; virgem ou reciclada; modificada ou não no estágio de preparação de estoque. Os principais tipos de papel com aplicação em embalagens são descritos a seguir (Raheem, 2012).

4.1.1.1 Glassine

O papel tipo glassine é um papel supercalandrado, cuja característica principal é impermeabilidade, destina-se principalmente à embalagem de produtos oleosos, gordurosos ou açucarados, tais como biscoitos, *fast foods* e produtos assados. A calandragem, produzida com 100% de pasta química especial, produz uma folha muito densa (40-150 g/m^2) com um acabamento liso e brilhante. É um material com pequena quantidade de poros e, quando adicionado de cargas minerais, adquire aspecto leitoso translúcido. Comercialmente, é um produto disponível em várias cores (Ecoenclose, 2021, Giatti, 1996).

4.1.1.2 Papel vegetal ou translúcido

Nesse tipo de papel, a polpa química branqueada é feita de maneira convencional e, posteriormente, é passada em banho de ácido sulfúrico. Parte da celulose superficial é gelatinizada e, após passar para a água, é redepositada entre as fibras de superfície formando uma camada impermeável. Este papel é caracterizado por possuir alta resistência a gordura e resistência à umidade, por isso é muito utilizado para embalar alimentos de confeitaria e padaria (Jorge, 2013, Raheem, 2016).

4.1.1.3 Kraft

O papel *kraft* natural não branqueado possui coloração parda, podendo ser monolúcido ou alisado, e é o principal papel usado na fabricação de sacos multifolhados. As fibras de celulose que formam o papel *kraft* conferem à ele excelente resistência à tração e ao rasgo. A superfície do papel pode ser acabada na máquina por meio de calandragem, ou máquina envidraçada em um secador do tipo *Yankee.* O processo de calandragem é responsável por aquecer, comprimir e dar polimento ao papel (Raheem, 2013, Selke, 2001).

4.1.1.3.1 *Kraft* branqueado

Muito utilizado como embalagem primária de produtos farináceos (Jorge, 2013), o papel kraft branqueado, em comparação ao *Kraft* natural possui cerca de 15% a menos de resistência e maior custo. Vários métodos podem ser usados para branquear a polpa. O branqueamento com cloro, até pouco tempo mais utilizado, vem sendo substituído pelo branqueamento com oxigênio devido a descoberta da produção de dioxina, uma substância altamente tóxica que pode causar malefícios ao organismo humano. Estudos mostraram que a maior parte da dioxina produzida é emitida para o efluente, no entanto, parte permanece no papel e pode entrar em contato com o alimento. O dióxido de cloro, uma alternativa ao cloro, reduz substancialmente a formação de dioxina, mas não a elimina totalmente (Figueiredo et al., 2011; Hernandez, Selke, & Lawal, 2018; Thébault, Kandelbauer, Müller, Zikulnig-Rusch, & Lammer, 2017).

4.1.1.4 Papel *Sulfite*

Mais leve e mais fraco que o papel *kraft,* o papel *Sulfite* é esmaltado para melhorar sua aparência e aumentar sua resistência ao óleo. Pode ser revestido para maior qualidade de impressão e também é usado em laminados com plástico ou folha de alumínio. O papel sulfite é usado, por exemplo, em embalagens para biscoitos e produtos de confeitaria (Raheem, 2012).

4.1.2 Cartão

O cartão possui ampla aplicação no mercado de embalagens secundárias. É mais espesso do que os papéis, possuindo maior gramatura por unidade de área e geralmente é fabricado em várias camadas (Raheem, 2012). De acordo com Mattos e Valença (1999), os cartões possuem gramaturas superiores a 150 g/m^2.

As cartolinas, nome genérico dado aos cartões de baixa gramatura, podem se apresentar com uma camada ou com estrutura multicamada. Quando formados por duas camadas, a camada inferior é constituída por celulose não branqueada ou pré-branqueada, e a superior é feita a partir de celulose branca (revestida, ou não, por papel couchê). São normalmente utilizados em capas de livros, cartuchos (para produtos farmacêuticos, alimentícios, higiênicos), embalagens de disco, embalagens para eletroeletrônicos, embalagens para brinquedos e *multipacks* (Jorge, 2013).

Já o cartão tríplex é formado por uma camada inferior (capa) com celulose branqueada; uma camada miolo (ou camada intermediária) de celulose não branqueada, com a adição de aparas recicladas; e uma camada superior (ou capa ou cobertura) de celulose branqueada, podendo ou não ter revestimento couchê em um dos lados (Jorge, 2013).

Segundo Soroka (1999), os papéis cartão se dividem nas seguintes categorias:

- Cartão branco: Único cartão cujo contato é permitido em alimentos, e por isso, usualmente aplicado na camada interna da embalagem, o cartão branco é produzido a partir de múltiplas camadas delgadas de polpa química branqueada. Pode ser revestido com cera ou laminado com polietileno.

- Papel cartão sólido: A união de diversas camadas de cartão branqueado, produz um cartão forte e durável, conhecido como cartão sólido. Quando laminado com polietileno, é aplicado na produção de caixas de papelão voltadas à contenção de produtos líquidos, como sucos de frutas e leite.

- Papel cartão aglomerado: O papel cartão aglomerado é obtido a partir do papel reciclado, podendo conter manchas e impurezas, o que o torna inadequado para contato direto com alimentos. Muitas vezes é adicionado de uma camada de papel cartão branco para melhorar a aparência e a resistência mecânica.

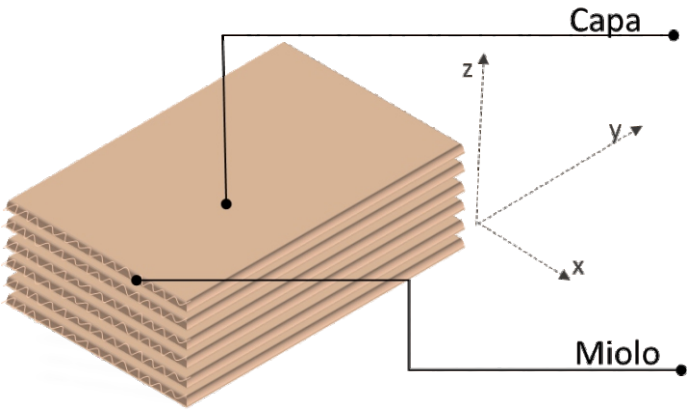
- Papel cartão de fibra: Esse tipo de papel cartão pode ser sólido ou corrugado. O sólido possui uma camada interna de cartão branco e uma camada externa de papel *kraft*, fornecendo uma boa proteção contra impacto e compressão. Quando laminado com plástico ou alumínio, o cartão de fibra sólido pode melhorar as propriedades de barreira e assim, pode ser usado para embalar produtos secos, como café e leite em pó.

4.1.3 Papelão

O papelão é mais grosso que o papel e o cartão e possui maior peso por unidade de área. Segundo a ISO 536:2012 (International Organization for Standardization, 2012) o papel acima de 200 g/m^2 é definido como papelão ou cartão.

O papelão, em sua estrutura mais básica, é formado por dois componentes principais, uma camada arqueada e ondulada, colada entre duas folhas lisas por meio de adesivo. Essa estrutura básica pode se repetir produzindo uma estrutura composta (ABPO, 2019), como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Estrutura do papelão



As propriedades mecânicas do papelão ondulado estão diretamente relacionadas ao tipo de papel utilizado, sendo menos resistentes aqueles provenientes de papel de menor qualidade com maior porcentagem de fibra reciclada (Pereira, 2013, Watckins, 2012).

De acordo com a terminologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5985 (2004) o papelão ondulado é classificado em (1) papelão de face simples, cuja estrutura é formada pelo miolo (elemento ondulado) colado à capa (elemento plano), papelão de parede simples, cujo miolo é colado, em ambos os lados, às capas, papelão de parede dupla, cujas capas são coladas à dois miolos, de maneira intercalada, papelão de parede tripla, formado por quatro capas coladas em três miolos, intercalados, e papelão de parede múltipla, formado por cinco ou mais capas coladas a quatro ou mais miolos, intercalados.

4.1.4 Papel laminado

Os papéis laminados são papéis revestidos, ou não, laminados com plástico ou alumínio para melhorar determinadas propriedades. O papel pode ser, por exemplo, laminado com polietileno para que a embalagem seja termosselável e para que possua melhores

propriedades de barreira ao gás e à umidade. No entanto, a laminação aumenta substancialmente o custo do papel (Kirwan, 2011). O papel laminado é usado para embalar produtos secos, como sopas, ervas e especiarias.

4.2 Embalagens de vidro

O vidro é um dos materiais de embalagem mais antigos e, ainda hoje, ocupa um lugar importante nesse mercado. Acredita-se que os primeiros objetos de vidro para guardar alimentos surgiram por volta de 3000 a.C., durante a Idade do Bronze, no extremo leste da área do Mediterrâneo (Griffin & Sacharow, 1980). O vidro ornamental foi encontrado em escavações no Egito e na Mesopotâmia. A invenção dos bastões de vidro nos tempos romanos levou à fabricação de recipientes de vidro oco, sendo uma das primeiras formas de embalagem. Já a fabricação mecanizada desse tipo de embalagem ocorreu nos Estados Unidos no final do século XIX (Girling, 2003).

Uma grande variedade de alimentos é embalada e comercializada em recipientes de vidro. Exemplos incluem: café instantâneo, misturas secas, temperos, alimentos processados para bebês, produtos lácteos, geleias, pastas, xaropes, frutas processadas, vegetais, mostardas e condimentos, cervejas, vinhos, licores, refrigerantes e água mineral. Dentro dessas categorias de alimentos e bebidas, os produtos variam de pós à produtos líquidos e vão desde alimentos carbonatados e embalados sob pressão, a produtos esterilizados pelo calor.

Por ser inodoro e quimicamente inerte, o vidro apresenta várias vantagens para aplicações em embalagens de alimentos, além disso, é impermeável a gases e vapores, mantendo o frescor do produto por um longo período sem prejudicar o aroma ou sabor.

O vidro quando temperado ainda apresenta capacidade de suportar altas temperaturas de processamento, o que torna este material útil no processo de esterilização por calor de alimentos com baixo e alto teor de ácido. Além das características citadas, o vidro é rígido, fornece um bom isolamento e pode ser produzido em diversos formatos (Grayhurst, 2012).

Outra qualidade interessante desse tipo de material relaciona-se a sua cor. O vidro pode se apresentar na forma transparente ou em inúmeras outras colorações, devido a adição de compostos inorgânicos. A transparência do vidro permite que os consumidores vejam o produto, mas as variações nas suas cores podem proteger os alimentos embalados que são sensíveis à luz. Por fim, a embalagem de vidro também beneficia o meio ambiente porque é reutilizável e reciclável (Marsh & Gugusu, 2007).

4.2.1 Composição

O termo "vidro" é uma palavra geralmente usada para descrever sólidos amorfos. Materiais construídos de vidro são sólidos amorfos que frequentemente contêm múltiplos componentes que foram derretidos e resfriados de maneira a impedir a cristalização (Sacha, Miller, Clemmer, Abram, & Akers, 2016). O vidro é um material estruturalmente semelhante a um líquido, mas devido à alta viscosidade em temperatura ambiente também é considerado um sólido amorfo não cristalino, ou seja, os átomos que o constituem se dispõem na rede vítrea de forma não ordenada.

O vidro é composto principalmente pelo silício. O silício é um elemento químico, cuja existência se dá na forma de sílica ou silicatos. A sílica é o dióxido de silício (SiO_2) comumente encontrado na areia e no quartzo. Um silicato é um composto feito de silício, oxigênio e pelo menos um metal, podendo também conter hidrogênio. A forma sintética mais amplamente reconhecida é o silicato de sódio, uma combinação de sílica com sódio e hidrogênio (Franco & Falqué, 2016).

O vidro pode ser considerado um material sintético composto por matérias-primas vitrificantes (por exemplo, a sílica), modificadoras de rede (ou fundentes), cristalizantes, estabilizantes, afinantes e materiais secundários (corantes ou descolorantes) (Adey & Loveland, 2007). Cada um dos componentes possui uma determinada função e é fornecido por matérias-primas específicas, que podem ser classificadas em grupos, conforme descrito a seguir.

4.2.1.1 Vitrificantes

Os principais materiais formadores da rede vítrea comercial incluem a sílica ou óxido de silício (SiO_2). O vidro obtido a partir da sílica possui excelentes propriedades, porém devido às características da rede vítrea formada, o processo de obtenção envolve altas temperaturas, sendo necessária grande quantidade de energia e portanto, altos custos à indústria. Geralmente, esse tipo de vidro, que possui alta estabilidade e resistência a choques térmicos, é utilizado em condições especiais, como na produção de fibra ótica e na área aeroespacial (Brems & Degryse, 2014).

4.2.1.2 Fundentes

Para contornar o problema gerado pelo alto ponto de fusão da sílica (aproximadamente 1700°C) e viabilizar a produção, elementos fundentes são adicionados com o intuito de diminuir a temperatura de fusão da mistura para em torno de 1400-1500°C. A adição desses elementos diminui a viscosidade e a temperatura de transição vítrea, porém geram vidros com menor resistência (Akerman, 2000). Os materiais fundentes mais utilizados comercialmente incluem o óxido de sódio (Na_2O) e o óxido de potássio (K_2O) (Sacha et al., 2016).

4.2.1.3 Estabilizantes

Como citado anteriormente, o uso de agentes fundentes para diminuir a temperatura a qual o vidro se funde, também tem como consequências a redução da viscosidade e o aumento do coeficiente de expansão térmica deste material. Essa variação nas propriedades é devido à formação de oxigênio não ligante provocada pela difusão dos íons de sódio ou de potássio, quebrando assim algumas das ligações Si-O-Si. Logo, a estabilidade química do vidro diminui. A adição de estabilizantes que substituam esses íons alcalinos, de grande mobilidade na rede, por íons bivalentes alcalinos terrosos, de menor mobilidade, diminui a mobilidade resultante, melhorando assim a durabilidade do vidro (Shelby, 1997).

Os óxidos estabilizantes mais comuns são os carbonatos de cálcio, de magnésio e de bário (CaO, MgO, BaO), os óxidos de alumínio (Al_2O_3) e de chumbo (PbO). Esses elementos atuam como "ponte" entre dois ou mais íons oxigênio, restabelecendo, assim, a rede vítrea. Além disso, os estabilizantes têm a capacidade de conferir maior resistência térmica, química e mecânica ao vidro (Moretti, 2001).

4.2.1.4 Afinantes

Na produção do vidro, quando fundidas a altas temperaturas, as matérias-primas geram grandes quantidades de gases, que podem ser causadores de bolhas no produto final. Agentes de afinamento são compostos químicos utilizados com intuito de remover as bolhas gasosas formadas na massa vítrea. Essa remoção se dá através da ascensão ou da dissolução das bolhas. Os compostos de sulfato, tal como sulfato de sódio, são os afinantes mais utilizados na produção de embalagens de vidro. Quando em contato com a solução vítrea quente, o sulfato de sódio se liquefaz e se acumula em torno das bolhas. Quando atinge certa temperatura, o sulfato se decompõe rapidamente, promovendo a formação de grande quantidade de gás, que por sua vez entra nas bolhas, fazendo-as crescer e ascender à superfície (Jorge, 2013; Miroslava & Miroslava, 2017).

4.1.1.5 Corantes

A cor da embalagem de vidro é um atributo de grande importância na comercialização e na conservação de alimentos. O vidro pode ser transparente ou apresentar cores diversas, como a cor verde e âmbar (marrom), que são frequentemente encontradas em garrafas. A cor dos recipientes de vidro deriva da adição de corantes inorgânicos na composição, sendo que estes corantes podem proporcionar uma variedade de cores a este material. Além da função estética, a adição do composto no vidro pode proporcionar o bloqueio da luz nociva na embalagem (Jorge, 2013). A seguir são apresentadas algumas cores obtidas pela adição de compostos inorgânicos na massa vítrea durante a produção do vidro.

- Verde: Quando materiais ligeiramente menos puros são usados, o teor de ferro (Fe_2O_3) aumenta e um vidro verde pálido é produzido. O óxido de cromo (Cr_2O_3) pode ser adicionado para produzir uma cor verde azul um pouco mais densa.
- Verde escuro: Esta cor também é obtida pela adição de óxido de cromo e óxido de ferro.
- Âmbar (marrom em várias densidades de cor): A cor âmbar é geralmente obtida pela fusão de óxido de ferro sob condições reduzidas. O carbono também é adicionado. O vidro âmbar tem propriedades de proteção UV e é usualmente utilizado em embalagens de produtos sensíveis à luz.
- Azul: O vidro azul é geralmente obtido pela adição de cobalto a um vidro com baixo teor de ferro.
- Outras cores: Grande variedade de cores pode ser produzida por ajuste das condições de funcionamento do forno ou por coloração com agentes colorantes. O vidro transparente é frequentemente usado para frascos e garrafas de bebidas coloridas, enquanto o vidro colorido é frequentemente usado para compor garrafas de produtos com compostos sensíveis à luz, como vinhos, cervejas e azeites.

4.2.2 Propriedades

Além da função de conter o produto, as funções mais relevantes que os recipientes de vidro oferecem estão relacionadas à proteção e preservação de alimentos, resistência a altas temperaturas no processo de produção, segurança para a saúde do consumidor e sustentabilidade ambiental.

A maioria das embalagens de vidro oferece proteção eficiente contra diversos riscos físicos, químicos e microbiológicos que podem aparecer durante o processo de produção de alimentos. Os recipientes de vidro fornecem proteção alimentar (1) evitando o contato entre o produto e contaminantes, como sujeira, insetos, roedores e outras pragas, (2) atuando como barreira impermeável à umidade ambiental, (3) sendo capazes de manter eficientemente o vácuo, inibindo assim, o crescimento de vários microrganismos e várias reações deteriorantes, (4) possuindo resistência à altas temperaturas nos processos alimentares e (5) sendo seguro para a saúde dos consumidores, pois não transfere resíduos tóxicos para alimentos (Wani et al., 2013).

4.2.2.1 Sustentabilidade ambiental

Garrafas de vidro retornáveis podem ser consideradas uma das melhores embalagens quando o assunto é sustentabilidade ambiental. No entanto, existem algumas questões contraditórias sobre os benefícios do uso de recipientes de vidro. Uma das preocupações

diz respeito ao peso adicional que estas embalagens implicam no transporte de alimentos e bebidas, em comparação às embalagens plásticas, resultando em maior impacto na emissão de gases poluentes e também nos custos. Além disso, o vidro é mais suscetível a danos físicos durante o transporte e o armazenamento. Esta característica aumenta a exigência de embalagem secundária para as garrafas confeccionadas com este material (Owen & Boyd, 2013).

4.2.2.2 Resistência a altas temperaturas

Vários processos térmicos são frequentes na produção de alimentos embalados em vidro, tais como enchimento a quente e imersão em banho de água quente. A embalagem de vidro quando passa pelo processo de têmpera suporta altas temperaturas de processamento, o que permite a pasteurização ou esterilização eficientes de muitos produtos na própria embalagem. Devido a essa propriedade, a embalagem de vidro apresenta grande importância para as indústrias de conservas vegetais, picles vegetais e geleias (Vibhakara & Bawa, 2006). Em geral, a resistência dos recipientes de vidro depende das características da estrutura, como a forma do vidro e a espessura da parede.

Como qualquer material, o vidro apresenta algumas desvantagens. É um material de alto peso, o que aumenta os custos de transporte; é frágil; e é susceptível à quebra devido à ação da pressão interna, impacto ou choque térmico.

4.3 Plásticos

O termo "plástico" é usado para descrever materiais constituídos por polímeros sintéticos ou naturais modificados, que podem ser moldados a partir do uso de calor e/ou pressão. Para a indústria de alimentos, com a crescente demanda por produtos industrializados, as embalagens plásticas flexíveis têm sido amplamente utilizadas devido à sua versatilidade. Segundo a União Europeia, em 2018, cerca de 60% de todas as embalagens plásticas foram usadas para alimentos e bebidas, enquanto o restante foi destinado a aplicações não-alimentares, como cosméticos, bens de consumo, utensílios domésticos e vestuário (UE, 2018).

Os plásticos são produzidos através da polimerização por condensação (policondensação) ou por adição (poliadição) de unidades monoméricas. Na policondensação, a cadeia polimérica cresce por reações de condensação entre moléculas e é acompanhada pela formação de subprodutos de baixo peso molecular, como água e metanol (Groover, 2010). Já na poliadição, as cadeias poliméricas crescem por reações de adição, nas quais duas ou mais moléculas se combinam para formar uma molécula maior sem liberação de subprodutos. (Ouellette & Rawn, 2015).

A utilização de materiais plásticos para produção de embalagens de alimentos apresenta diversas vantagens. Os plásticos podem ser moldados em diferentes folhas, formas e estruturas, oferecendo flexibilidade considerável de design. São materiais quimicamente resistentes, baratos e leves, com uma ampla gama de propriedades físicas e ópticas. Além disso, muitos plásticos são selados a quente, fáceis de imprimir e podem ser integrados em processos de produção onde a embalagem é formada, preenchida e vedada na mesma linha de produção. No entanto, como qualquer outro material, os plásticos apresentam algumas desvantagens. As principais desvantagens consistem na sua permeabilidade variável à luz, gases, vapores e moléculas de baixo peso molecular e ao elevado tempo de degradação no meio ambiente, quando não descartados corretamente (Selke & Culter, 2016).

Os materiais plásticos usados em embalagens são muito diversos em sua estrutura química, apresentando propriedades variáveis dependendo do processamento, aditivos incorporados e combinação com outros polímeros (Robertson, 2006). Os plásticos são subdivididos em duas categorias principais: plásticos termofixos e termoplásticos. Os termofixos são polímeros que solidificam ou se ajustam irreversivelmente quando aquecidos. Por serem fortes e duráveis, eles tendem a ser usados principalmente em automóveis e aplicações de construção, como adesivos e revestimentos, não tendo aplicação direta em embalagens de alimentos. Por outro lado, os termoplásticos são polímeros que amolecem após a exposição ao calor e retornam à sua condição original à temperatura ambiente. Como os termoplásticos podem ser facilmente moldados e remoldados em vários produtos, como garrafas, jarras e filmes plásticos, são ideais para embalagens de alimentos. Além disso, praticamente todos os termoplásticos podem ser reciclados (derretidos e reutilizados como matéria-prima para a produção de novos produtos) (Marsh & Bugusu, 2007).

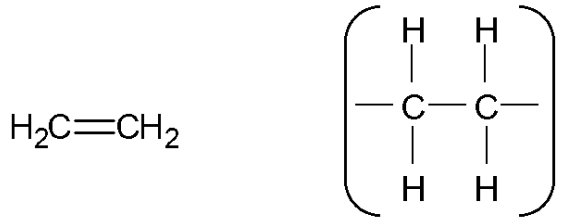
As embalagens plásticas são geralmente fabricadas de resinas termoplásticas, nomeadamente o polietileno tereftalato (PET) (conhecido como tipo 1); polietileno de alta densidade (PEAD) (conhecido como tipo 2); policloreto de vinila (PVC) (conhecido como tipo 3); polietileno de baixa densidade (PEBD) (conhecido como tipo 4); polipropileno (PP) (conhecido como tipo 5); poliestireno (PS) (conhecido como tipo 6); e outros (conhecido como tipo 7). A última categoria inclui multicamadas e outros plásticos que geralmente não são coletados para reciclagem. Os primeiros tipos citados (1-6) podem ser coletados, separados e posteriormente reprocessados mecanicamente ou quimicamente em flocos e/ou pastilhas que são utilizadas como matéria-prima na fabricação de novos produtos (Hahladakis & Iacovidou, 2018).

Os polímeros de forma geral são materiais constituídos por grandes moléculas compostas pela repetição de uma unidade estrutural. Quando os polímeros são formados por um único tipo de monômero são chamados homopolímeros e quando compostos de dois ou mais tipos de monômeros são chamados copolímeros (Landim et al., 2016). Além disso, em alguns casos, os nomes dos polímeros são derivados dos monômeros antecedidos do prefixo poli.

4.3.1 Polietileno (PE)

O polietileno (FIG.10) é o termoplástico mais utilizado como material de embalagem (Geyer, Jambeck & Law, 2017). É considerado o plástico mais simples e barato produzido pela polimerização do etileno, do qual deriva seu nome.

Figura 10 – Estrutura química do polietileno



Etileno Polietileno

Dependendo do sistema catalítico e das condições reacionais empregadas na polimerização, o polietileno pode apresentar estrutura molecular linear ou ramificada. Tal estruturação é responsável pela produção de polietilenos de diferentes densidades, tais como polietilenos de alta, média e baixa densidade (Coutinho, Mello & Maria, 2003).

4.3.1.1 Polietileno de baixa densidade (PEBD)

O polietileno de baixa densidade, cuja densidade varia de 0,910 a 0,925 g/cm^3, foi o primeiro plástico a entrar em uso comercial comum em embalagens, no final da década de 1940 (Sem & Raut, 2015). É um polímero produzido pela polimerização de radicais livres em autoclaves de alta pressão e reatores tubulares. É polimerizado a partir do etileno e, diferentemente do polietileno de alta densidade (PEAD), possui uma estrutura altamente ramificada, com ramos longos e curtos, que interferem na cristalização. A cristalinidade percentual mais baixa dá ao PEBD uma densidade menor do que o PEAD, tornando-o mais macio e flexível, além de diminuir um pouco sua capacidade de barreira. A boa resistência química e à óleo do PEBD, juntamente com seu baixo custo, o torna um excelente material para diversas aplicações em embalagens flexíveis (Tharanathan, 2003).

O polietileno de baixa densidade é caracterizado pela facilidade de vedação, flexibilidade e resistência à umidade. Como esse polímero é relativamente transparente, ele é predominantemente usado como filme e em aplicações onde é necessário que a embalagem passe por uma selagem a quente. Tampas flexíveis, sacos e garrafas de alimentos compressíveis são alguns exemplos de embalagens que utilizam o polietileno de baixa densidade na sua produção (Sastri, 2014a).

4.3.1.2 Polietileno de alta densidade (PEAD)

O polietileno de alta densidade (0,95-0,96 g/cm^3) possui uma cadeia mais linear e é mais denso e rígido que o PEBD, além de menos transparente (Sem & Raut, 2015). É um polímero caracterizado por possuir consideráveis propriedades de barreira, propriedades térmicas e, além disso, ótimas propriedades mecânicas como resistência à tração/perfuração.

As principais características deste material plástico são: menor flexibilidade e maior resistência química que o PEBD; menor transparência e menor permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio. É usado normalmente para produzir garrafas de leite, bandejas e sacos para frutas e legumes (Jorge, 2013).

4.3.2 Poliésteres

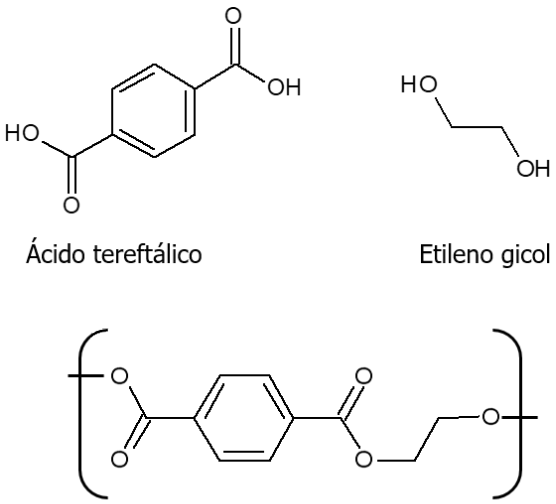
Polietileno tereftalato (PET), policarbonato e polietileno naftalato (PEN) são poliésteres, ou seja, são polímeros de condensação formados a partir de monômeros ésteres que resultam da reação entre ácido carboxílico e álcool. Atualmente, o poliéster mais usado nas embalagens de alimentos é o PET (Sastri, 2014b).

Os poliésteres são classificados de acordo com as características químicas de seus monômeros. Os poliésteres saturados correspondem à polímeros termoplásticos muito versáteis utilizados para fabricação de produtos de diversos segmentos de mercado, incluindo fibras e filmes, plastificantes, vernizes e adesivos, elastômeros e espumas. Já os poliésteres insaturados, tais como as resinas alquídicas para moldagem e resinas para laminação, são polímeros termofixos ou termorrígidos, comercializados no estado líquido para que ocorra sua cura (formação das reticulações) no momento desejado (McKeen, 2010).

4.3.2.1 Polietileno tereftalato (PET)

O polietileno tereftalato, conhecido popularmente como PET, corresponde ao poliéster mais utilizado como material de embalagens flexíveis. É um polímero formado através da reação entre ácido tereftálico e etileno glicol (FIG.11). O PET fornece uma boa barreira aos gases (oxigênio e dióxido de carbono) e à umidade. Também possui boa resistência ao calor, óleos minerais, solventes e ácidos, mas não às bases (Aoyama, Park, Ougizawa, & Macosko, 2014; Inuwa et al., 2014).

Figura 11 – Estrutura química do polietileno tereftalato



Algumas características do PET podem ser explicadas a partir da sua estrutura química. Sendo sua flexibilidade atribuída, em temperatura ambiente, a sequência alifática e ao oxigênio na cadeia principal. Já a sua rigidez pode ser atribuída a presença do grupo benzênico (McKeen, 2010).

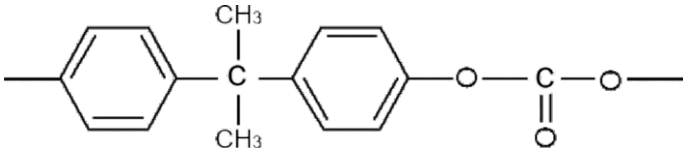
Este tipo de poliéster existe tanto como um material termoplástico amorfo (transparente), quanto como um material semicristalino (opaco e branco). O PET amorfo tem melhor ductilidade, porém menos rigidez e dureza do que o PET semicristalino, que tem boa resistência, ductilidade, rigidez e dureza (López-Fonseca, Duque-Ingunza, De-Rivas, Flores-Giraldo, & Gutiérrez-Ortiz, 2011).

Uma das principais aplicações do PET refere-se à produção de garrafas plásticas para bebidas carbonatadas. Os principais motivos da utilização deste material para produção deste tipo de embalagem se devem principalmente à: transparência semelhante à do vidro, barreira de gás adequada para retenção da carbonatação, peso leve e a resistência à quebra (Al-Sabagh, Yehia, Eshaq, Rabie, & Elmetwally, 2016).

4.3.2.2 Policarbonato (PC)

O policarbonato, apresentado na Figura 12, é um poliéster linear formado por polimerização de um sal de sódio de ácido bisfenol com dicloreto de carbonila (fosgênio) (Dutia, 2012).

Figura 12 – Estrutura química do policarbonato



O PC é um polímero amorfo e incolor que apresenta temperatura de transição vítrea (Tg) em torno de 147ºC. É um material transparente com elevado índice de refração (n=1,586) e estabilidade dimensional em uma ampla faixa de temperatura, possui elevada resistividade, estabilidade térmica e resistência ao impacto, além de ser passível de transformação por termomoldagem feita por compressão, extrusão e moldagem por injeção (Matsuoka, 2002).

O policarbonato é usado principalmente como substituto do vidro em itens como garrafas retornáveis e mamadeiras esterilizáveis (Brunelle & Korn, 2005).

4.3.2.3 Polietileno naftalato (PEN)

O poli(etileno naftalato) ou poli(etileno-2,6-naftaleno-dicarboxilato) – PEN é um poliéster aromático que possui excelentes propriedades mecânicas e flexibilidade, vantagens decorrentes da presença de anéis de benzeno em sua estrutura química (Nunes, Agnelli, & Rossi, 1998).

O PEN foi sintetizado pela primeira vez em 1948, porém somente em 1973 tornou-se disponível comercialmente em pequena escala, devido ao elevado custo de produção dos intermediários para sua síntese (Fink, 2008).

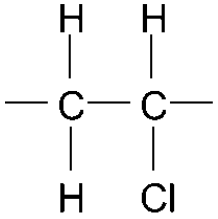
Comparado ao PET, o PEN apresenta algumas características superiores, tais como: melhor barreira ao oxigênio, ao dióxido de carbono, ao vapor de água e aos raios ultravioleta, e melhor resistência química (Siegel et al., 2010; Slepička, Rebollar, Heitz, & Švorčík, 2008; Slepička et al., 2011; Starosta, Wawszczak, Sartowska, & Buczkowski, 1999).

Um dos entraves para maior utilização do PEN é o seu custo, que pode ser diminuído através da combinação com o PET (Bedia, Murakami, Kitade, & Kohjiya, 2001).

4.3.3 Policloreto de vinila (PVC)

O PVC é um material plástico sintetizado a partir do monômero de cloreto de vinila. Apresenta coloração branca e baixa resistência à quebra. A Figura 13 apresenta a estrutura química do policloreto de vinila.

Figura 13 – Estrutura química do policloreto de vinila

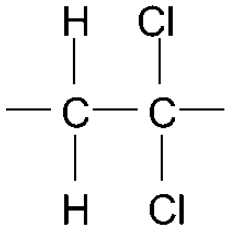


Este polímero é caracterizado por possuir excelente resistência a produtos químicos (ácidos e bases). Embora o PVC seja usado principalmente em aplicações médicas e outras não alimentares, seus usos alimentícios incluem garrafas para bebidas e filmes de embalagem. Por serem facilmente termoformados, as folhas de PVC são amplamente utilizadas em blisters, como os de produtos cárneos e embalagens farmacêuticas de dose unitária (Nunes & Rodolfo, 2002).

4.3.4 Poli(cloreto de vinilideno) (PVdC)

O policloreto de vinilideno (FIG. 14) é um homopolímero semelhante ao PVC, com adição em sua estrutura de um átomo de cloro. Pode ser selado termicamente e possui excelente barreira para o vapor de água, gases e produtos gordurosos e oleosos. É usado em embalagens flexíveis como filmes monocamada, revestimentos ou utilizado como uma camada de um produto co-extrusado. As principais aplicações deste material plástico incluem embalagem de carnes, queijos, salgadinhos, chá, café e confeitaria. Ele também é usado em envase a quente, armazenamento em baixa temperatura e embalagem com atmosfera modificada (Goswami & Mangaraj, 2011).

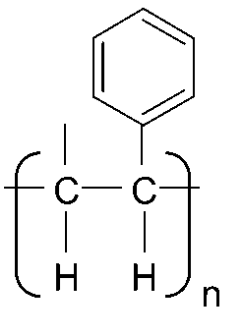
Figura 14 – Estrutura química do poli(cloreto de vinilideno)



4.3.5 Poliestireno (PS)

O poliestireno (FIG. 15), um polímero amorfo formado pelo estireno, que por sua vez é produzido pela adição de benzeno ao gás etileno, possui propriedades particulares tais como alta claridade, dureza, baixa resistência à queda e ponto de fusão relativamente baixo (Matyjaszewski, 1989, McKeen, 2014).

Figura 15 – Estrutura química do poliestireno



Em temperatura ambiente, o PS é um polímero rígido, frequentemente utilizado em copos e bandejas termoformadas, como por exemplo, bandejas para produtos cárneos. O PS não preenchido tem uma aparência brilhante e é frequentemente referido como PS cristalino ou PS normal, que é transparente, duro e bastante quebradiço. É utilizado, por exemplo, em embalagens de iogurte; copos descartáveis e caixas para CDs. Adicionando borracha ou um copolímero de butadieno que aumenta a tenacidade e resistência ao impacto do polímero, é possível produzir o poliestireno de alto impacto (HIPS). Já o poliestireno expandido (EPS), conhecido usualmente no Brasil como Isopor®, é obtido a partir de pequenas esferas de poliestireno, que ao entrar em contato com um agente de expansão (por exemplo, pentano C_6H_{12}) se expandem formando uma espuma rígida, muito usada na forma de bandejas para alimentos de origem vegetal e animal (Begum et al.,2020, Thakur et al., 2018).

4.3.6 Poliamida (PA)

Comumente conhecido como nylon (nome popularmente reconhecido de gama de produtos produzidos pela DuPont), as poliamidas foram originalmente usadas nas indústrias têxteis. Formadas por uma reação de condensação entre a diamina e o diácido, as poliamidas são polímeros nos quais as unidades de repetição são mantidas juntas por ligações amida (Licari & Swanson, 2011). As poliamidas são caracterizadas por um número que se relaciona com o número de carbonos no monômero originário. Por exemplo, o nylon 6 tem 6 carbonos e é tipicamente usado em embalagens (McKeen, 2012).

Os dois tipos de poliamidas mais importantes comercialmente são PA6 e PA6.6, sendo o último predominante no uso de embalagens. PA6 fornece resistência ao desgaste, à força, à ruptura, à temperatura, e proporciona moderada barreira ao oxigênio. O PA6 orientado é usado como substrato para algumas aplicações de embalagens flexíveis, mas com mais frequência o PA6 é encontrado em estruturas de filme fundido ou soprado co-extrudado. Embalagens de carne e queijo são duas aplicações que frequentemente utilizam uma ou mais camadas de PA6. Neste caso, o EVOH (copolímero de etileno e álcool vinílico) é frequentemente colocado entre duas camadas de PA6 para melhorar a termoformabilidade da estrutura (McKeen, 2014).

4.3.7 Produtos laminados e produzidos por co-extrusão

Os materiais plásticos podem ser fabricados como um único filme ou como uma combinação de mais de um tipo e camada de plástico. Existem duas maneiras de combinar os plásticos: laminação e co-extrusão.

A laminação envolve unir dois ou mais plásticos ou ligar um plástico a outro material, como papel ou alumínio. A união é geralmente obtida pelo uso de adesivos à base de água, solvente ou sólidos. Depois que os adesivos são aplicados a um filme, os dois filmes são

unidos. Nos últimos anos, a laminação usando laser ao invés de adesivos também tem sido empregada para termoplásticos (Kirwan, 2003). Exemplos clássicos de embalagens laminadas são as embalagens de biscoitos, cafés, molhos e salgadinhos.

Na co-extrusão, duas ou mais camadas de plástico fundido são combinadas durante a fabricação do filme. Esse processo é mais rápido (requer uma etapa em comparação às várias etapas da laminação), mas requisita materiais que tenham características térmicas que permitam a co-extrusão. Os produtos embutidos e queijos são exemplos de produtos que utilizam este tipo de material (Drobny, 2020).

Como a co-extrusão e a laminação combinam múltiplos materiais, a reciclagem é laboriosa. Todavia, a combinação de materiais resulta na vantagem aditiva das propriedades de cada material isoladamente e geralmente reduz a quantidade total de material de embalagem necessário.

4.4 Metais

No início dos anos 1800, após a oferta de um prêmio por Napoleão Bonaparte para a primeira pessoa a desenvolver uma maneira de preservar alimentos, as primeiras latas de alimentos processadas com uso do calor foram criadas, produzidas e vendidas ao público em Bermondsey, leste de Londres. Tal fato gerou grande impacto na sociedade e a tecnologia logo se espalhou para os Estados Unidos, onde se desenvolveu o processo de produção contínuo (Featherstone, 2012).

No início de 1900, a inserção de um novo método para substituir o ineficiente sistema de soldagem provocou grandes avanços na tecnologia de embalagens metálicas, tanto na velocidade de operação quanto nos aspectos de segurança alimentar. Em 1933, três latas de cerveja de costura lateral soldada tornaram-se disponíveis nos Estados Unidos após o desenvolvimento de materiais de revestimento internos adequados. A escassez de folhas de flandres na Suíça durante a Segunda Guerra Mundial levou ao desenvolvimento do uso de alumínio para a criação de latas sem costuras. Como resultado deste trabalho, em 1963, as primeiras latas de cerveja de alumínio foram vendidas nos Estados Unidos (Emblem & Emblem, 2012).

Atualmente, o mercado mundial de embalagens metálicas abrange embalagens para alimentos, bebidas, aerossóis e produtos secos. A maioria das latas de metal usadas em alimentos é destinada para produtos úmidos, como carnes, peixes, legumes, frutas e para todos os alimentos que precisam ser esterilizados imediatamente após o enchimento de modo a estender a shelf life do produto acondicionado (Page, 2012).

As latas de metal estão disponíveis em grande variedade de formas, tamanhos e estilos, podendo ser desde tubos flexíveis pequenos e alongados a grandes tambores de aço construídos. As embalagens metálicas estão em constante competição com outros

materiais e processos de preservação e continuam populares devido à algumas de suas características, tais como a boa resistência mecânica, vedação hermética, boa condutividade térmica, resistência a temperaturas relativamente altas, possibilidade de reciclagem e custo reduzido (Berk, 2018).

Três classes principais de materiais metálicos são atualmente usadas para aplicações de embalagens de alimentos: alumínio e suas ligas, chapas de aço inoxidável e de aço revestidas (folha de flandres, aço sem estanho, aço revestido com polímero) (Piergiovanni & Limbo, 2016).

Estruturalmente, as embalagens metálicas para alimentos são classificadas como embalagens de duas peças ou três peças. As latas de três peças apresentam costura no corpo da lata e duas tampas (tampo e fundo), e são usadas principalmente para alimentos sólidos. Já as de duas peças são constituídas pelo corpo e fundo da lata como uma única peça e uma tampa, sendo mais utilizadas no setor de bebidas. Neste tipo de lata, tanto o aço quanto o alumínio podem ser usados (Page, 2012).

4.4.1 Metais e ligas utilizadas para embalagens alimentares

4.4.1.1 Aço

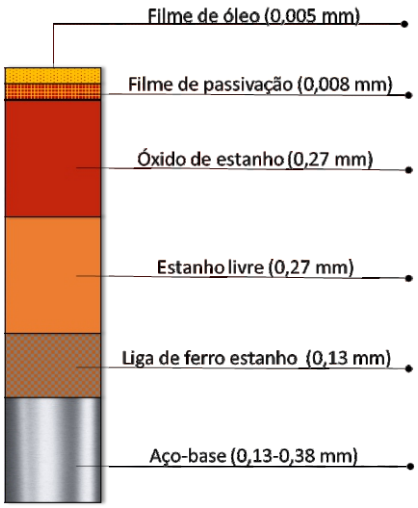
O ferro representa o principal constituinte do aço, que por sua vez pode ser usado como aço laminado, ou utilizado na produção de latas revestidas com cromo, de latas não revestidas e latas de folha-de-flandres (Robertson, 2013).

4.4.1.1.1 Folha de flandres

A folha de flandres, também conhecida como *tinplate,* constitui o exemplo de aço revestido mais importante em aplicações de embalagens de alimentos. É um material heterogêneo, formado por uma base de aço galvanizada com uma camada muito fina de estanho (normalmente cerca de 0,4–1,5 μm) em ambos os lados. Leva ainda uma camada de passivação, protegida por uma camada de óleo. Toda a folha apresenta uma espessura que varia aproximadamente entre 0,13 e 0,40 mm (Page, 2012; Piergiovanni & Limbo, 2016).

A estrutura da folha de flandres, apresentada na Figura 16, é consequência das etapas de preparação física (térmica e mecânica) e química (revestimento eletrolítico, oxidação, lubrificação) do material. As etapas mais importantes para se obter a inatividade necessária para o acondicionamento de alimentos neste tipo de embalagem são as etapas de revestimento por estanho (estanhagem) e passivação (Oldring & Nehring, 2007).

Figura 16 – Seção transversal de uma folha de flandres após as etapas de fabricação física e química



Fonte: Adaptado de Piergiovanni e Limbo (2016).

Em adição à alta resistência e maleabilidade, o aço-base presente na folha de flandres acrescenta rigidez ao produto final, podendo, a depender da sua composição química e de seu modo de elaboração, melhorar a resistência à corrosão da embalagem (Jorge, 2013).

Quanto à resistência à corrosão, o aço subdivide-se em três tipos principais: L, MR e MC. O aço do tipo L é destinado a produtos fortemente corrosivos, o aço MR a produtos de média corrosividade e o MC é destinado a produtos pouco agressivos (Jorge, 2013).

A etapa de "estanhagem" é realizada através de um processo eletrolítico, onde o aço é recoberto por uma fina camada de estanho metálico (Sn) em um banho de sulfato de estanho. Essa etapa é seguida por um tratamento térmico (260-270°C) que leva à formação da liga de ferro/estanho ($FeSn_2$), a qual protege a parte interna da lata do fenômeno da oxidação, que levaria à contaminação do alimento. No processo de deposição eletrolítica, o revestimento é aplicado dos dois lados da chapa de aço. Geralmente, o lado com menor teor de revestimento fica em contato direto com o meio ambiente (Dantas, Anjos, Segantini, & Gatti, 1996).

O passo subsequente é a passivação química ou eletroquímica, que ocorre em uma solução de dicromato de sódio, onde óxidos de estanho e cromo são adicionados às superfícies. Essa etapa tem como objetivo melhorar a resistência à oxidação atmosférica, à sulfuração e aderência de tintas e vernizes (Oldring & Nehring, 2007).

A última etapa de fabricação da folha de flandres corresponde a aplicação de um lubrificante oleoso (por exemplo, citrato de acetilo ou sebacato de dioctilo) para minimizar os danos mecânicos causados pela abrasão, facilitar a manipulação durante a fabricação da lata e proteger contra a corrosão ambiental (Oldring & Nehring, 2007).

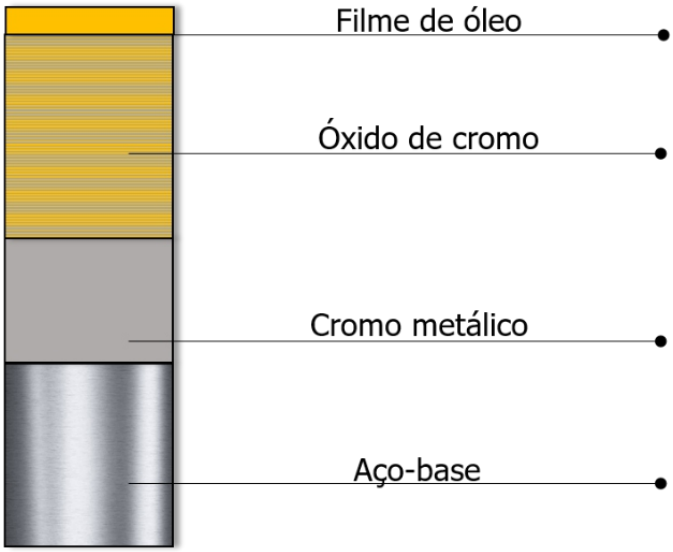
Como a folha de flandres não é totalmente inerte faz-se necessária sua proteção adicional com revestimentos orgânicos, denominados vernizes, dentro e fora do corpo e nas extremidades do recipiente final. A gramatura desses revestimentos varia de 3 a 9 g/m^2, levando a espessuras que variam de 4 a 12 μm. Os revestimentos a base de oleorresinas são de origem natural e são normalmente aplicados em embalagens contendo alimentos ricos em enxofre, como milho e produtos cárneos (Dantas, 1999). As resinas do tipo vinil são produzidas através da dissolução de cloreto de vinila e copolímero de acetato de vinila em solventes. São comumente aplicados como uma segunda camada de revestimento ("*top coat*"), já que não aderem bem ao metal. Não possuem sabor e odor, são resistentes a ácido, álcali, óleo e detergente, mas não são estáveis ao calor devendo ser aplicadas em embalagens contendo alimentos secos, cervejas e bebidas enlatadas (Buchheit, 2012). As resinas fenólicas são resistentes a óleo, ácido e sulfeto, sendo capazes de proteger as latas da sulfuração. Os fenólicos têm baixa flexibilidade, não aderem bem ao metal e podem alterar o odor e sabor de alguns alimentos. Eles encontram aplicação como revestimentos para tambores e baldes, não sendo usados isoladamente em embalagens de alimentos e bebidas (Wang, Zheng, & Zheng, 2011). Os revestimentos acrílicos são derivados da polimerização do ácido acrílico e proporcionam boa retenção de cor e estabilidade ao calor. Por serem quebradiças e por poderem alterar as propriedades organolépticas dos alimentos, são comumente usadas como revestimentos externos (Ahmad, 2006). Por fim, os revestimentos de poliéster (também denominados resinas alquídicas) são produzidos através da condensação de polialcoóis com poliácidos e apresentam elevada resistência térmica, boa aderência e flexibilidade mediana. No entanto, não são estáveis sob condições ácidas e têm uma baixa resistência à corrosão (Brandt, Johnson, Elphinston, & Ratnayaka, 2017, FPF, 2016).

4.4.1.1.2 Folha cromada

Durante a década de 1960, devido à disponibilidade limitada e aos elevados custos do estanho, foi desenvolvido o "*Tin-Free Steel*" (TFS), isto é, placas revestidas com diferentes camadas de óxidos metalícos (Kopper & Ariosti, 2010).

Como melhor alternativa para substituir a folha de flandres, aparece o aço revestido eletroliticamente com cromo, a chamada folha cromada. A folha cromada é formada por uma chapa de aço revestido, em ambos os lados, por uma delgada camada de cromo metálico óxido de cromo (Jorge, 2013). A Figura 17 apresenta a estrutura da folha de cromo.

Figura 17 – Seção transversal de uma folha cromada



A folha cromada possui custo inferior a folha de flandres, é resistente à corrosão atmosférica e à sulfuração superficial. Porém, necessita da aplicação de verniz dos dois lados e, quando essa etapa é feita adequadamente, oferece uma proteção satisfatória a um grande número de produtos alimentares de baixa acidez (Kopper & Ariosti, 2010).

4.4.1.1.3 Aços revestidos com polímeros

Recentemente, o aço tem sido revestido com polímeros termoplásticos sintéticos para aplicações em embalagens. Exemplos desses polímeros incluem o politetrafluoroetileno (PTFE), perfluoroalcoxialcano (PFA), perfluoroetilenopropileno fluorado (FEP), que podem, em diferentes espessuras, ser simultaneamente revestidos ou laminados em superfícies opostas (Leivo, Wilenius, Kinos, Vuoristo, & Mantyla, 2004).

Além da excelente aparência, as vantagens dos aços revestidos com polímeros incluem a resistência contra a abrasão, à corrosão e as interações com alimentos, além de apresentar notável barreira contra a umidade (Ohtsuka, 2012).

4.4.1.1.4 Folha não revestida

A folha não revestida corresponde a uma chapa material de aço, sem nenhuma camada de revestimento. Apesar da folha não revestida ter um baixo custo, possui baixa resistência à corrosão e não podem ser soldadas. Como não apresenta qualquer tipo de revestimento, para minimizar a interação com o alimento, atualmente a legislação brasileira permite o uso desse tipo de material apenas em produtos alimentícios desidratados e óleos comestíveis (Jorge, 2013).

4.4.1.1.5 Aço inoxidável

O aço inoxidável é uma liga cujo principal componente é o ferro, juntamente com o cromo (menos 11%), e, em proporção menor, outros elementos, tais como níquel, manganês, cobre e carbono. Devido à sua alta resistência à corrosão, essas ligas podem estar em contato direto com qualquer alimento, e também com muitos produtos químicos, sem qualquer proteção ou cobertura adicional. Sua excepcional inércia química é fornecida pelo conteúdo de cromo, um metal moderadamente ativo, que reage à temperatura ambiente com o oxigênio do ar para formar seu óxido, o Cr_2O_3. Este processo é chamado de auto-passivação e protege a liga da corrosão, tanto na superfície como na camada interna do material (Singh, 2016).

Embora o nome aço inoxidável sugira uma perfeita imunidade contra a corrosão, ele pode sofrer uma série de corrosões por uma série de compostos muito agressivos, além disso, os baixos níveis de metais contidos nesta liga podem migrar da superfície da lata para o alimento (Truman, 1976).

4.4.1.2 Alumínio

O alumínio é amplamente utilizado em materiais de contato com alimentos, estando presente em ligas que podem conter elementos como magnésio, silício, ferro, manganês, cobre e zinco. O alumínio possui excelentes propriedades de barreira contra umidade, oxigênio e outros gases e aromas voláteis, bem como contra o impacto da luz. Além disso é um material muito leve e maleável, podendo ser facilmente manipulado. O alumínio pode ser encontrado tanto em embalagens rígidas, tais como latas de refrigerante e cerveja, quanto em embalagens semirrígidas flexíveis. Compõe ainda as embalagens multicamadas, conferindo barreira à luz (Cabral, 1984, Kerry, 2012).

4.4.1.3 Vernizes

Os revestimentos internos e externos usados em embalagens metálicas são normalmente aplicados na forma líquida ou sólida (como pós, laminados ou extrusados) e podem ser aplicados antes da deformação do metal para formar o recipiente ou tampa, ou após a formação do objeto (Aurela & Söderhjelm, 2007).

A principal função dos vernizes em embalagens metálicas é reduzir a interação entre a placa metálica e o meio, seja ele o produto acondicionado (quando aplicado internamente) ou o meio ambiente (aplicado externamente). Os vernizes utilizados devem ter mínima migração e não podem provocar mudanças sensoriais ao produto (Jorge, 2013).

Há um número limitado de produtos químicos disponíveis a serem utilizados como revestimentos em contato direto com alimentos. No entanto, a alta diversidade de revestimentos é causada por variações e combinações das resinas e ainda é aumentada pelo número de possíveis agentes de reticulação e aditivos (Lakind, 2013).

5. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Assim como há uma diversidade de materiais que podem ser utilizados como embalagens de alimentos, também existem inúmeros processos que podem ser realizados para a sua obtenção. O tipo de processo se diversifica principalmente devido ao tipo de material e do produto final requerido. A seguir, são descritos os principais processos realizados para cada um dos principais materiais de embalagens utilizados na indústria alimentícia.

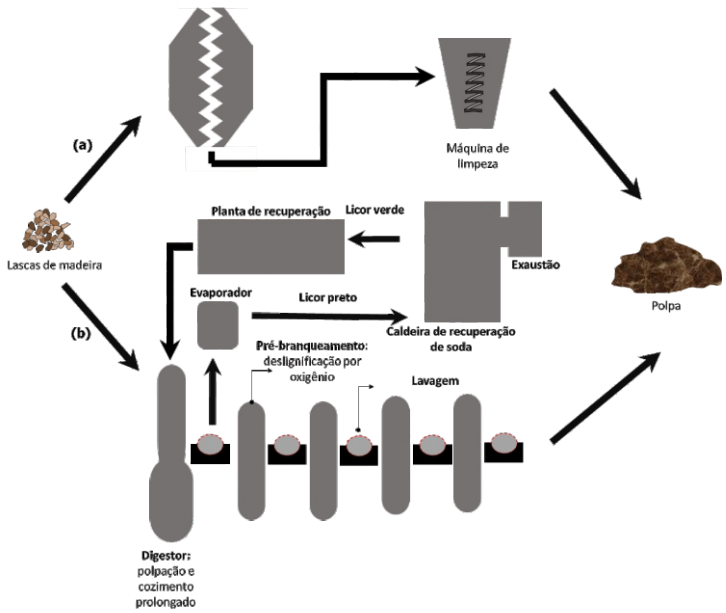
5.1 Embalagens celulósicas

A produção de papel e cartão envolve as etapas de desagregação das fibras, preparação da pasta, fabricação do papel, acabamentos da folha e transformação (Kirman, 2011).

As embalagens celulósicas são materiais na forma de folha, compreendendo uma rede entrelaçada de fibras de celulose derivadas da madeira. A resistência da folha depende da origem e do tipo de fibra, de como a fibra foi processada, do peso por unidade de área e da espessura (Ottenio et al., 2004).

A fibra virgem, ou primária, é obtida diretamente da madeira por um processo conhecido como polpação. Este processo pode ser feito mecanicamente (FIG. 18a) ou com o auxílio de produtos químicos que dissolvem a maioria dos componentes não-celulósicos da madeira, que são posteriormente usados para fornecer energia (FIG. 18b).

Figura 18 – Polpação (a) mecânica e (b) química da celulose

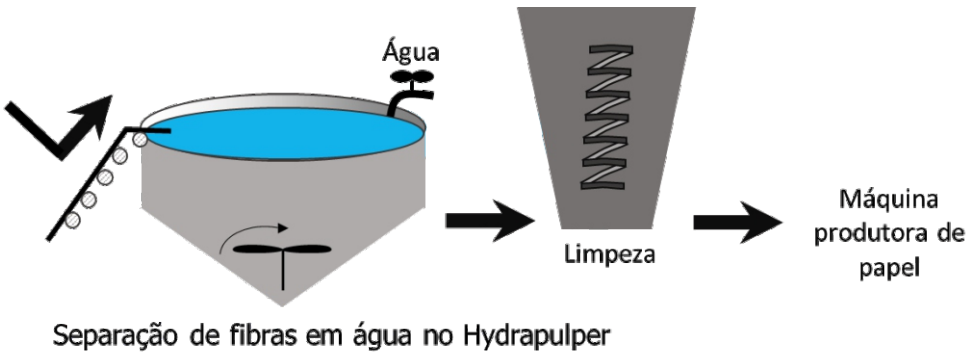


Fonte: Adaptado de Kirman (2011).

Para a separação das fibras da madeira por processos químicos, os agentes sulfato e sulfito podem ser utilizados. As fibras quimicamente separadas tendem a apresentar cor castanha, mas podem ser branqueadas para remover todos os vestígios de material não celulósico. Já a fibra mecanicamente separada mantém a cor da madeira, embora o branqueamento possa ser realizado através de um tratamento químico ameno (Tajeddin, 2011).

As fibras recuperadas (fibra secundária) provenientes de materiais celulósicos usados que não são branqueados possuem cor cinza ou marrom. Quando os resíduos impressos misturados são recuperados, o papel é processado e a cor da polpa resultante é cinza. A polpa pode ser tingida durante o processamento para atender uma determinada cor específica. O processo pelo qual a fibra recuperada é transformada em papel e papelão é um exemplo de reciclagem de material (FIG. 19).

Figura 19 – Produção de polpa reciclada



Fonte: Adaptado de Kirwan (2005).

Após a desfibrilação da pasta nos *hydrapulpers* por meio de agitação e diluição em água, através do uso de reagentes químicos, a pasta é branqueada obtendo-se o papel branco. A pasta branqueada é então suspensa de água (aproximadamente 2% de fibra e 98% de água), formando uma camada uniforme. A camada de fibras emaranhadas em água é submetida ao vácuo, para remoção da água por drenagem. Chapas finas celulósicas podem ser formadas em uma camada, já papéis mais espessos requerem várias camadas de polpa, do mesmo tipo ou de diferentes polpas, dependendo do tipo de placa (Kirwan, 2011).

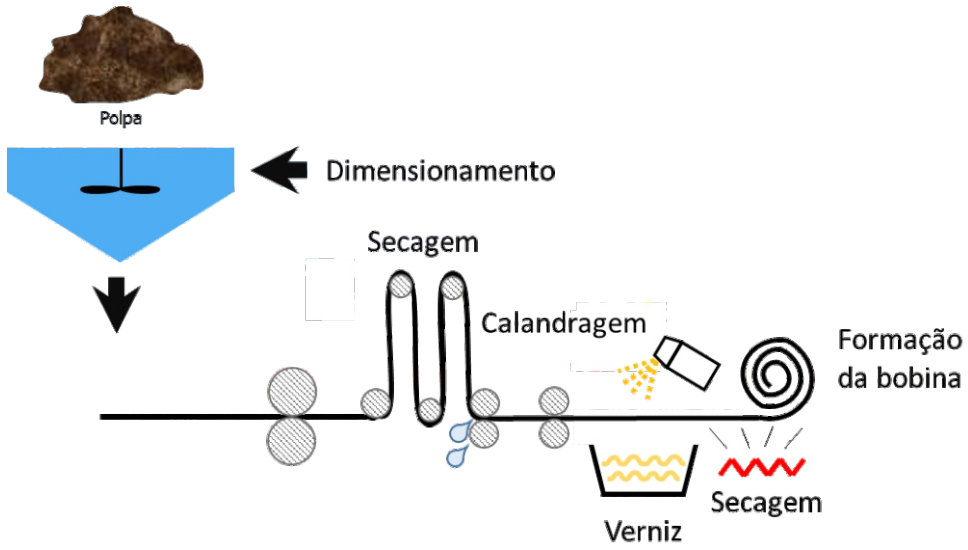
Após a etapa da formação da malha, a folha é mantida entre mantas absorventes e é pressionada suavemente com rolos de aço, de modo que, com ajuda do vácuo, mais água é removida, reduzindo o teor de umidade da folha para cerca de 60-65%. Na etapa de secagem a folha passa sobre cilindros aquecidos a vapor, o que faz com que a umidade seja reduzida para menos de 10%. Algumas máquinas incluem em sua seção de secagem um cilindro aquecido muito grande com uma superfície de aço polido, conhecido como cilindro *Yankee* (Riley, 2012b). Ademais, o processo de espremer a folha através de uma série de rolos de aço melhora a uniformidade da espessura. Este processo é conhecido como calandragem (Ottenio et al., 2004).

A calandragem é responsável por dar acabamento monolúcido ao papel. Essas melhorias tornam o papel mais adequado para impressão e para o uso de outros revestimentos (Bajpai, 2018).

Revestimentos pigmentados brancos podem ser aplicados a um ou ambos os lados de muitos tipos de papel, como o couchê. Os revestimentos compreendem pigmentos minerais, tais como argila e carbonato de cálcio e ligantes sintéticos (adesivos), dispersos em água. Após a aplicação, os revestimentos são secos por contato com cilindros de secagem aquecidos por vapor. As folhas podem ser polidas dependendo da aparência, cor, suavidade, brilho e propriedades de impressão necessárias (Tajeddin, 2011).

Por fim, o papel formado é embalado normalmente em bobinas, e essas são embrulhadas geralmente com material resistente à umidade, como filmes de polietileno. Através da Figura 20, observa-se cada uma das etapas da produção do papel.

Figura 20 – Processamento do papel



Fonte: Adaptado de Kirman (2011).

5.2 Vidro

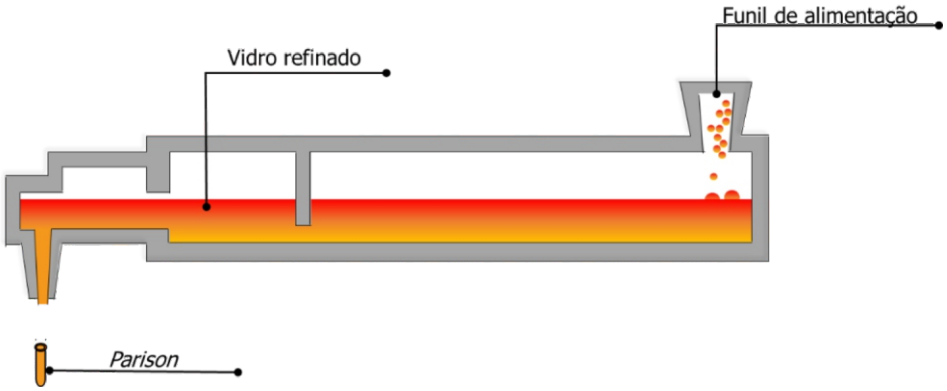
Em geral os vidros são fabricados por um processo no qual as matérias-primas (areia, barrilha, calcário e cacos de vidro) em proporções variadas são misturadas e fundidas a uma temperatura elevada entre 1350°C a 1600°C, possibilitando, se necessário, a moldagem em diferentes formas e tamanhos (Landim et al., 2016). A escolha dos demais componentes, além dos vitrificantes, varia de acordo com as características requeridas pelo produto final, tais como cor e propriedades mecânicas.

5.2.1 Fusão

Após a escolha e o inspecionamento da matéria-prima, a primeira etapa de fabricação das embalagens de vidro é a de fusão dos componentes. Primeiramente, o vidro é fundido em forno a temperaturas de aproximadamente 1500°C e, posteriormente, é homogeneizado produzindo um líquido. A temperatura é então aumentada (1550-1580°C) para que haja liberação de gases que causam bolhas à massa vítrea (Grayhurst & Girling, 2011).

A seguir, o vidro fundido passa por um processo de resfriamento lento (até de aproximadamente 1100°C) para homogeneização e aumento da viscosidade (Moretti, 2001). No alimentador (FIG. 21), o vidro fundido é extrusado através de um orifício de diâmetro conhecido a uma taxa pré-determinada e é cortado em uma forma cilíndrica sólida. O cilindro do vidro formado, conhecido como *parison*, é desenvolvido pressionando ou soprando a gota para a forma do molde. O *parison*, que é equivalente em peso ao recipiente a ser produzido, é então invertido e levado para a etapa de moldagem (Eustine, 2008).

Figura 21 - Fundição do vidro



5.2.2 Moldagem

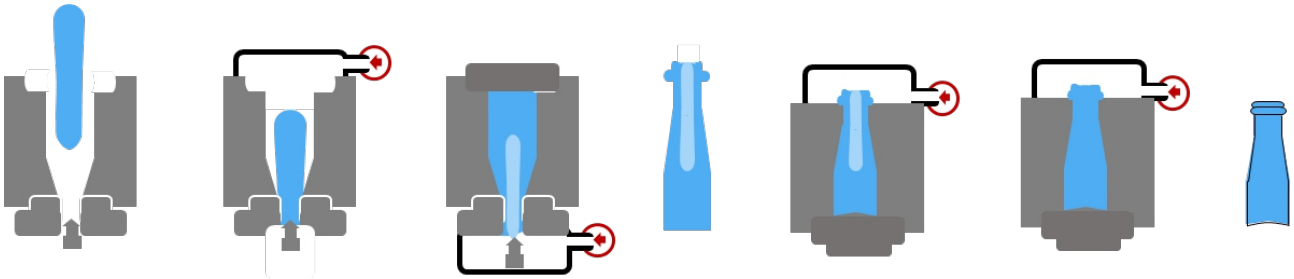
Recipientes de vidro podem ser moldados através das técnicas “sopro-sopro” ou “pressão-sopro”. De maneira geral, o processo de “sopro e sopro” é usado para garrafas e o processo de “pressionar e soprar” para frascos.

5.2.2.1 Sopro-sopro

O processo sopro-sopro (FIG. 22) inicia-se com a introdução da gota de vidro no pré-molde, que irá, após a injeção de ar comprimido, formar o gargalo. O *parison* é formado a partir do primeiro sopro de ar comprimido. Em seguida, o *parison* é girado e reaquecido e uma nova

etapa de sopro que expande a parede do recipiente para sua forma final. Por fim, o molde da embalagem é aberto, o recipiente é retirado e transferido para o forno de recozimento (Grayhurst & Girling, 2011).

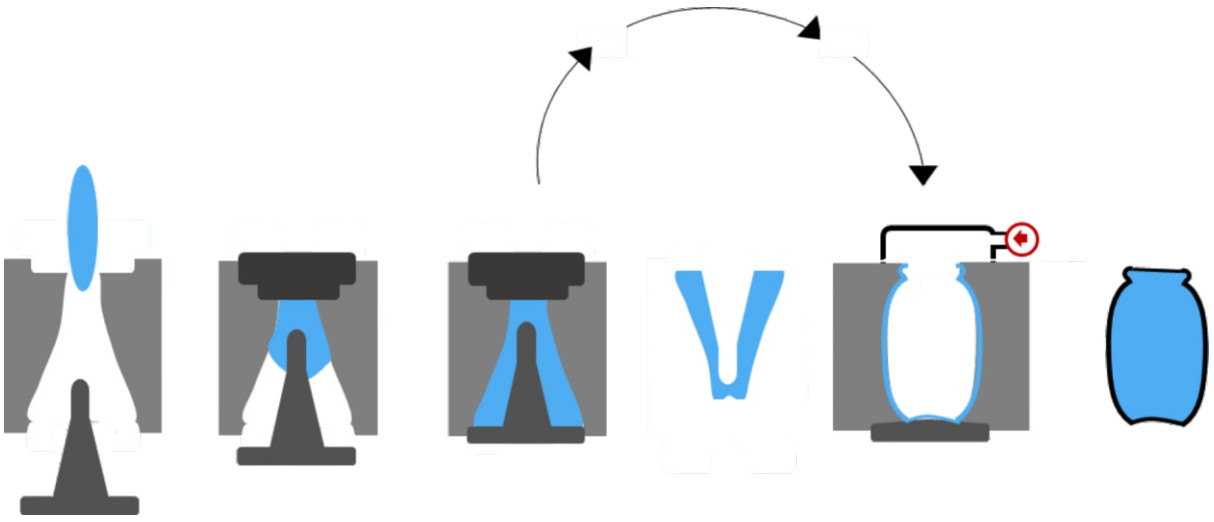
Figura 22 – Processamento do tipo sopro-sopro de garrafas de vidro



5.2.2.2 Pressão-sopro

No processo pressão-sopro (FIG. 23), a formação da garrafa processa-se igualmente em dois passos. O *parison* é feito, primeiramente, pela ação de um êmbolo, que pressiona a gota de vidro sobre o pré-molde. Assim como no processo anterior, o *parison* é transferido para o molde de acabamento e soprado para atingir a forma final do recipiente. O uso desse processo é restrito aos recipientes de boca larga com aberturas superiores a aproximadamente 35 mm e, portanto, é mais comumente usado em frascos, como os potes para geleias (Giannopapa & Groot, 2011).

Figura 23 – Processamento do tipo pressão-sopro de garrafas de vidro



5.2.3 Recozimento

Para reduzir a tensão e assegurar a estabilidade dimensional, o vidro passa pelo processo de recozimento, que envolve resumidamente duas operações: i) manutenção da massa vítrea em temperaturas entre 500 e 550°C durante um tempo suficiente para que as tensões internas sejam reduzidas; ii) resfriamento da massa até a temperatura de 50°C de forma gradual a fim de evitar a formação dessas tensões (Grayhurst & Girling, 2011).

5.2.4 Tratamento final a frio

O objetivo do tratamento final a frio é criar uma superfície lubrificada que não se quebre sob a influência de pressão ou água. A aplicação se dá por pulverização ou vapor aquoso e os lubrificantes mais utilizados são derivados de ceras de poliéster ou polietileno.

5.3 Embalagens plásticas

As embalagens plásticas podem ser produzidas pelos processos de extrusão, termoformação, injeção e sopro.

5.3.1 Extrusão

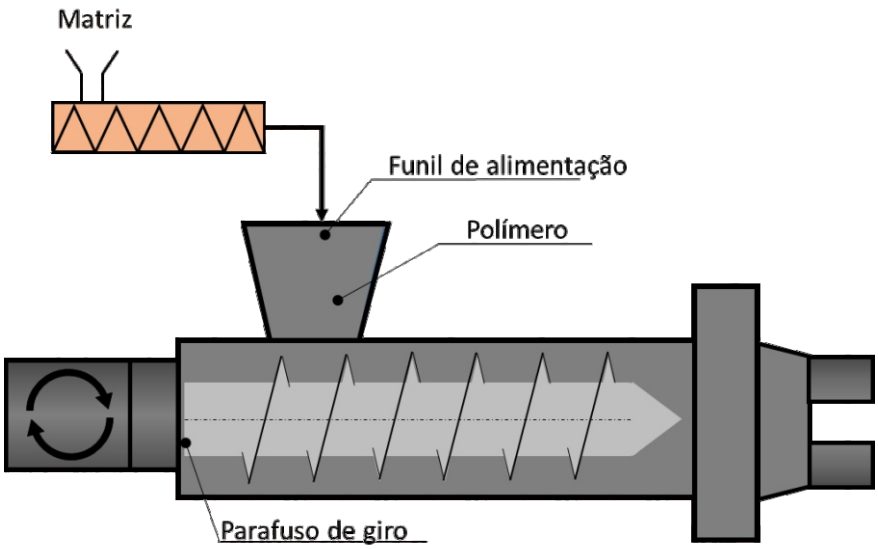
A primeira etapa da produção de plásticos extrusados consiste na conversão do plástico sólido, geralmente em forma de pastilha, para o estado líquido ou fundido (Selke & Culter, 2016).

A extrusora é usada na produção de filmes e chapas e em parte do processamento de garrafas, onde faz parte de uma máquina de moldagem por injeção. As extrusoras usadas em todas essas configurações funcionam de maneira semelhante, mas entregam o material fundido à operação de modelagem de maneira diferente (Rosato, Rosato, & Rosato, 2004).

O propósito de uma extrusora é usar calor, pressão e cisalhamento para transformar o plástico sólido em um fundido uniforme. Isso frequentemente envolve a mistura de aditivos, como concentrados de cor, misturas de resinas e materiais reciclados. O fundido final deve ser uniforme em temperatura e em composição (Xanthos, 2000).

A extrusora realiza tudo isso usando um tubo oco, contendo um parafuso com canais helicoidais. Um diagrama simplificado da extrusora é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Diagrama simplificado de uma extrusora



À medida que o polímero viscoso derretido sai da extrusora deve haver uma pressão alta o suficiente para forçá-lo através de uma matriz para produzir uma forma desejada, ou para forçá-lo a entrar em uma câmara de molde. As extrusoras normalmente possuem três zonas de temperatura, muitas vezes com fornecimento para aquecimento e resfriamento em cada uma. O aquecimento é frequentemente feito com aquecedores elétricos, e o resfriamento com ar forçado ou com tubulação de água (Selke & Culter, 2016).

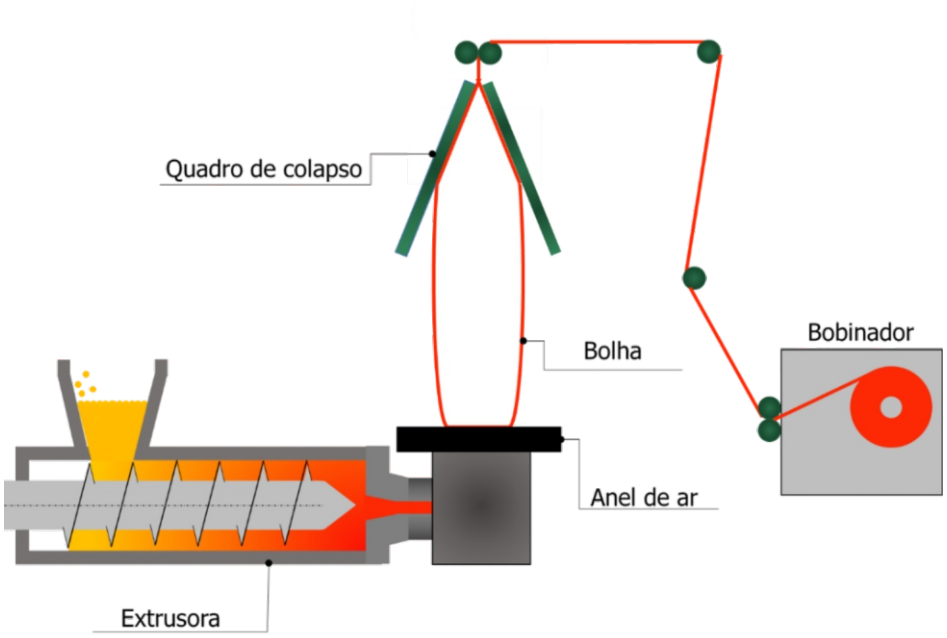
A temperatura adequada no processo de extrusão dos plásticos depende do tipo de plástico e do seu peso molecular, bem como dos requisitos do processamento. À medida que a temperatura aumenta, a viscosidade do plástico diminui, de modo que o rendimento aumenta e os requisitos de energia diminuem. Por outro lado, quanto maior a temperatura, maior é a necessidade de resfriamento, o que pode prolongar os tempos de ciclo e aumentar o potencial de degradação térmica (Szabo, 2005).

Usualmente, para produzir-se sacos plásticos, a extrusão é feita em matriz tubular, já estruturas como filmes e chapas são obtidas a partir da matriz plana. As diferentes extrusões citadas são explicadas a seguir.

5.3.1.1 Extrusão tubular

A extrusão tubular consiste num processo contínuo no qual o polímero é fundido e forçado a passar através de uma matriz anelar. Tal processo resulta em um tubo, e este é insuflado com ar em uma “bolha”, e então, é resfriado (FIG. 25).

Figura 25 – Processamento tipo extrusão tubular



O ar é sempre soprado do lado de fora da bolha para resfriar o filme, no entanto, caso deseje-se aumentar as taxas de produção, o resfriamento interno da bolha também pode ser usado. O filme é esticado nas direções longitudinal e circunferencial durante a produção, resultando na orientação biaxial do filme. A quantidade e o grau relativo de alongamento determinam o grau de orientação. O alongamento circunferencial é inerente ao processo de sopro. Os principais polímeros usados na produção de filmes obtidos a partir da extrusão tubular são poliolefinas, embora outros polímeros também possam ser usados. As principais aplicações incluem sacos, bem como filmes agrícolas e de construção. Em embalagens de alimentos, estruturas co-extrusadas com três a cinco camadas, ou até mais, são comuns em embalagens para cereais, carnes, salgadinhos e congelados (Selke & Culter, 2016, Santos, Souza, & Grogorio, 2013).

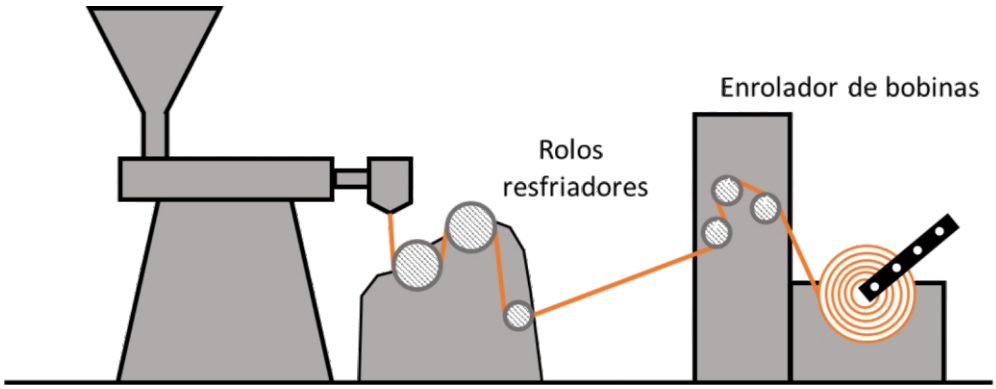
.

5.3.1.2 Extrusão plana

O processo de extrusão plana pode ser usado para produzir folhas ou filmes monocamada ou multicamadas (co-extrusão). É um processo de produção contínuo onde o material é forçado através de uma matriz plana (Flat Die) adquirindo assim a forma pré-determinada, que nesse caso é um filme ou chapa. A diferenciação entre filme e chapa se dá basicamente devido à espessura. Podemos considerar filme, àqueles com espessura igual ou inferior a 0,003 mm e consistência flexível enquanto chapa possuem espessuras a partir de 0,15 mm e consistência rígida (Riley, 2012a).

O processo de extrusão plana é apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Linha de extrusão plana



O polímero extrudido entra em contato com o primeiro rolo de resfriamento tangencialmente e, em seguida, é transportado tipicamente em um padrão S em torno de dois ou mais rolos de resfriamento. O primeiro rolo de resfriamento normalmente opera a uma temperatura de aproximadamente 40°C. Os rolos subsequentes operam à temperaturas sucessivamente mais baixas para resfriar o filme o suficiente para que ele possa ser cortado e enrolado (Wagner, Mount III, & Giles Jr, 2014a).

A co-extrusão multicamada requer uma extrusora para cada tipo diferente de polímero usado. O número de polímeros requeridos é frequentemente superior ao número de polímeros funcionais utilizados, uma vez que são necessárias camadas de ligação (adesivo).

5.3.2 Termoformação

A termoformação é um método capaz de transformar uma chapa (ou filme) plástica, previamente extrusada, em uma embalagem, moldando-a dentro ou ao redor de um molde. Este processo é amplamente utilizado para produzir embalagens do tipo *blister*, nas quais o produto é encapsulado entre uma bolha de plástico moldado, geralmente transparente, e um cartão de apoio, geralmente de papelão (Cantor & Watts, 2011; Selke & Culter, 2016).

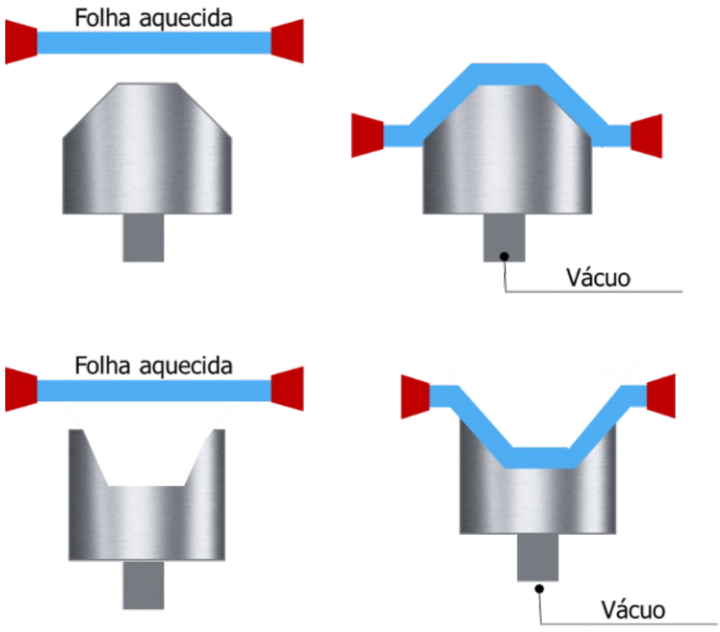
O processo de termoformação é formado por três etapas básicas: aquecimento da chapa, formação da embalagem e aparamento da peça final.

Existem muitos métodos para moldar a chapa de plástico, incluindo a formação de vácuo e a formação por pressão (Riley, 2012a). Outras técnicas de termoformação são modificações ou combinações destes métodos básicos (Selke & Culter, 2016).

5.3.2.1 Formação por vácuo

Na formação de embalagens plásticas pelo uso de vácuo (FIG. 27), um molde positivo da peça, com uma forma convexa, é usado. A formação é auxiliada pela aplicação de vácuo para puxar o material para o contorno da forma.

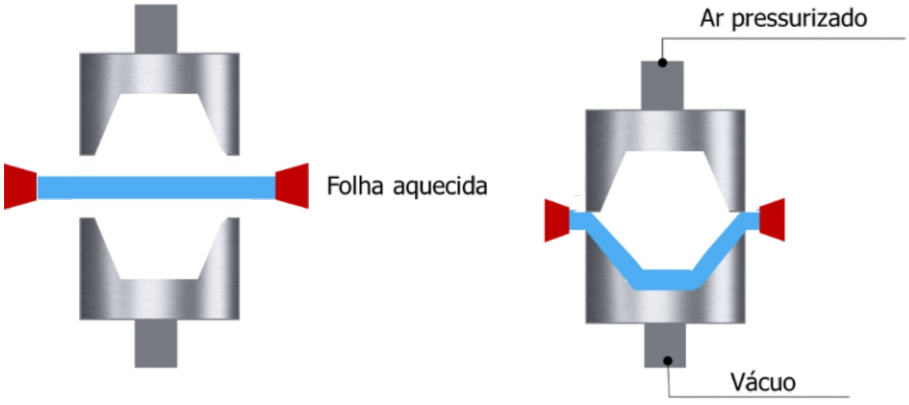
Figura 27 – Formação de embalagens plásticas por vácuo



5.3.2.2 Formação pelo uso de pressão

A formação pelo uso de pressão (FIG. 28) usa pressão adicional para formar a folha. Um molde positivo ou negativo pode ser usado. Na maioria das vezes, a pressão do ar maior do que uma atmosfera é fornecida para um lado da folha, enquanto o vácuo é aplicado no outro lado.

Figura 28 - Formação de embalagens plásticas por pressão

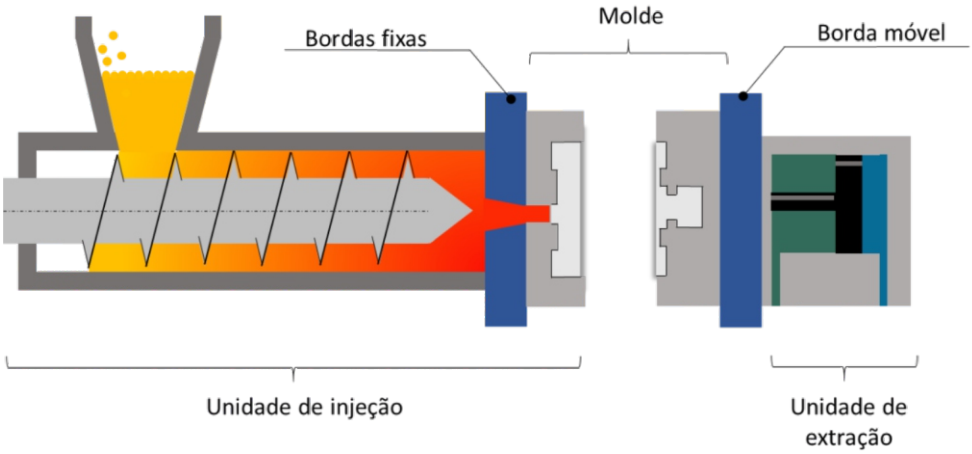


5.3.3 Injeção

A moldagem por injeção é o processo no qual o plástico derretido é forçado para dentro de um molde, onde é moldado e resfriado. É o método usual na fabricação de tampas de vários tipos. A moldagem por injeção também é usada para produzir bandejas de margarina, embalagens grandes e outros recipientes. Uma aplicação muito importante é a produção de pré-formas para garrafas moldadas por injeção a sopro (Ebnesajjad, 2003; Selke & Culter, 2016).

O processo de moldagem por injeção começa com adição do plástico, geralmente na forma de pellets, em uma máquina de moldagem por injeção (FIG. 29).

Figura 29 – Processamento de embalagens plásticas por injeção



A máquina de moldagem por injeção trata-se, em essência, de uma extrusora muito parecida com as usadas para produzir filmes fundidos ou soprados, porém, com uma adição. O parafuso tem a capacidade de se mover para trás e para frente no cano; isto é conhecido como um parafuso alternativo. Quando o parafuso gira, o plástico derretido é contido dentro do barril e se acumula à frente do parafuso. A pressão criada pelo derretimento força o parafuso para trás no cano. Quando o volume desejado de fusão é acumulado, o parafuso para de girar. Este parafuso é então acionado para frente, mecanicamente ou hidraulicamente. Isso força o plástico derretido através de um bocal no molde. Normalmente, a pressão é elevada a um nível alto e mantida ali depois que o molde é preenchido. Após um período de tempo (determinado pelo processamento necessário para cada peça feita), o parafuso é retraído, a rotação do parafuso começa e o processo recomeça (Riley, 2012a; Selke & Culter, 2016).

5.3.4 Extrusão-sopro

Uma das formas mais populares para recipientes plásticos rígidos é a garrafa/frasco. No entanto, garrafas e frascos, mesmo aqueles com gargalos grandes, não podem ser efetivamente produzidos por moldagem por injeção. Com a técnica de sopro, citada anteriormente para embalagens de vidro, um modo eficaz de produzir garrafas e frascos

plásticos é usar pressão de ar para moldar o interior do objeto. Na moldagem por sopro, a pressão do ar é usada para moldar o interior de um objeto de plástico, enquanto um molde molda o exterior. Moldagem por sopro é a única maneira prática de fazer garrafas e frascos plásticos, e este método também é usado para grandes recipientes de plástico, como tambores (Wagner, Mount III, & Giles Jr, 2014b).

O primeiro passo do processo de extrusão-sopro é a extrusão do parison. O parison consiste em uma pré-forma, formada pelo gargalo da garrafa/frasco com um tubo grosso de polímero, que posteriormente formará o corpo do frasco. As duas metades do molde, em seguida, fecham-se no parison. Um alfinete ou uma agulha é inserida e o ar é introduzido no molde, expandindo o parison. O molde é resfriado, geralmente com água, para solidificar o plástico. Quando o recipiente está frio o suficiente para manter sua forma, ele é ejetado do molde. O flash (excesso de material) é cortado do gargalo e da parte inferior do recipiente, bem como de outras áreas (Cantor & Watts, 2011). Esse processo é representado na Figura 30.

Figura 30 – Moldagem de embalagem plásticas através de processamento extrusão-sopro

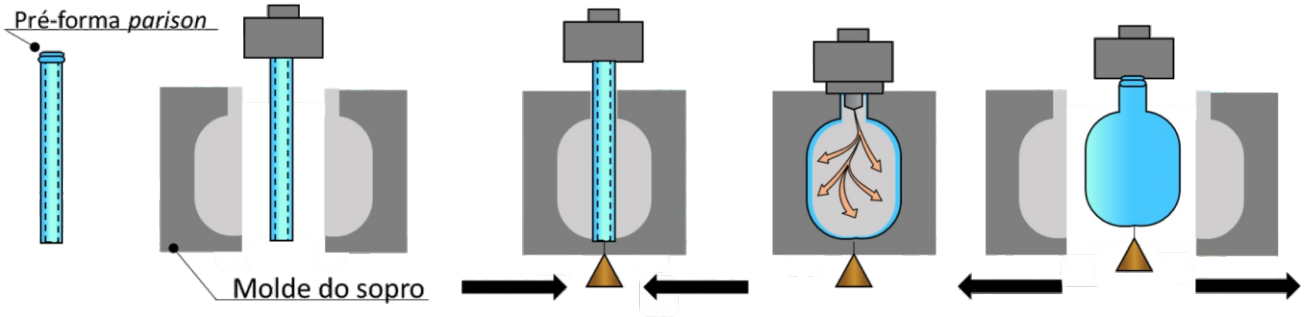


5.3.5 Injeção-sopro

A moldagem por injeção e sopro é um processo combinado. Primeiro, é feita a moldagem por injeção de uma pré-forma e, em seguida, é realizada a sopragem na forma final, portanto, dois moldes são necessários. A moldagem por sopro e injeção é usada para a maioria das garrafas PET, assim como para a maioria das garrafas usadas para produtos farmacêuticos.

O processo é realizado em três etapas: injeção, sopro e extração. Na primeira etapa, o parison é produzido por um processo de moldagem por injeção em torno de uma haste. Em seguida, de maneira contínua, o molde de injeção é aberto e o parison, ainda quente, é girado e colocado em um molde maior na estação de sopro, onde é soprado e inflado para a sua forma final. Esse processo dá origem à embalagens com melhor distribuição de espessura (Selke & Culter, 2016). O processo descrito é representado pela Figura 31.

Figura 31 – Processamento de embalagens plásticas por injeção-sopro



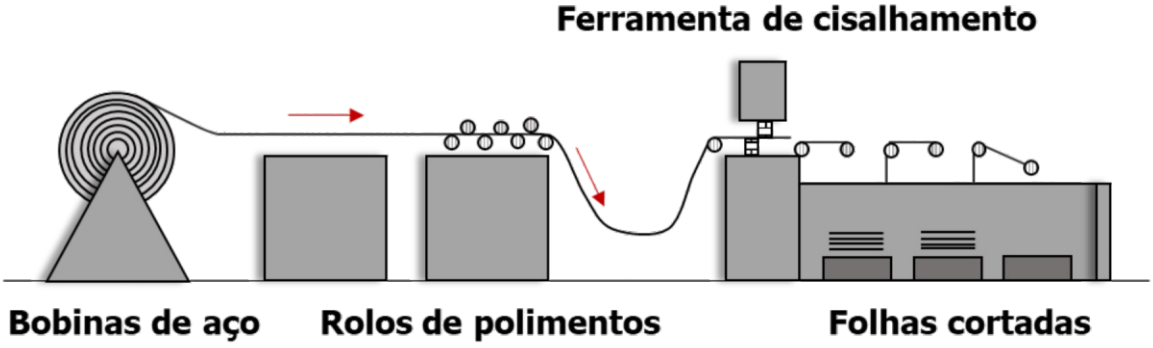
5.4 Embalagens metálicas

5.4.1 Latas de 3 peças

Latas soldadas de três peças para alimentos, bebidas e demais produtos, bem como aerossóis, são arquitetadas somente a partir de materiais à base de aço, uma vez que placas de alumínio fino não podem ser soldadas por este processo. A maioria das latas de três peças é produzida com a folha de flandres, uma vez que as folhas cromadas, citadas no item 4 desse capítulo, são difíceis de soldar sem remover o revestimento metálico (Oldring & Nehring, 2007).

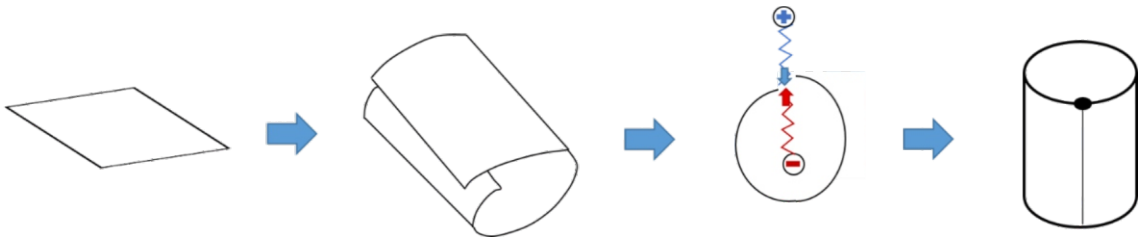
Após o recebimento na siderúrgica, as bobinas de folha de flandres são cortadas em chapas de aproximadamente um metro quadrado (para adequar a capacidade dimensional do equipamento) (Dantas, 1999). Depois desse processo, mostrado na Figura 32, as chapas são cortadas em dimensões retangulares a partir das quais serão feitos os corpos das latas individuais.

Figura 32 – Processamento/corte das bobinas de aço



A área nas proximidades da solda é deixada sem revestimento ou impressão para garantir a qualidade da solda. Na máquina de conformação de corpos de solda, cada peça bruta é enrolada em um cilindro com as duas bordas longitudinais sobrepostas em aproximadamente 0,4 mm. Cada pico de corrente elétrica cria um ponto de solda. À medida que o comprimento do cilindro passa entre os rolos do eletrodo, uma série de pontos sobrepostos é criada para formar uma solda contínua. Se necessário, um revestimento é aplicado sobre a tira lateral formada pela solda (Page, 2012). O processo de formação e soldagem das latas de três peças é descrito na Figura 33.

Figura 33 – Formação e soldagem da lata de três peças



Fonte: Adaptado de Page (2012).

5.4.2 Latas de 2 peças

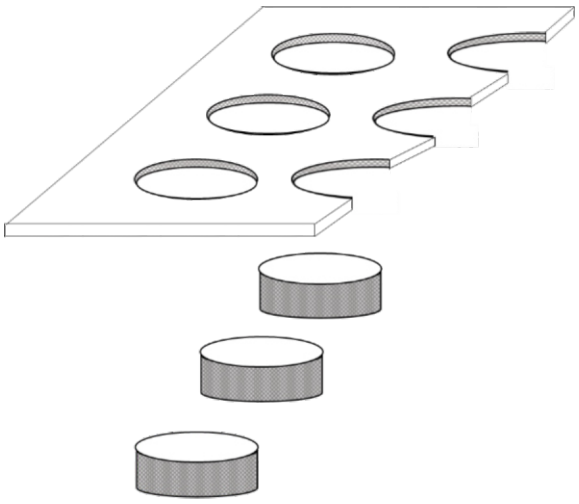
Embalagens metálicas de duas peças são recipientes com a extremidade inferior e o corpo moldado a partir de uma folha de metal por estampagem profunda e com uma segunda extremidade costurada para fechamento. Como a embalagem inteira é composta de duas peças, é conhecida como lata de duas peças (Sodeik, Taeffner, & Weber, 1988).

Em termos de matéria-prima, as latas de 2 peças podem ser de alumínio ou de aço, em termos de processos de produção, as latas podem ser formadas por embutimento simples, embutimento múltiplo ou por uma combinação de embutimento com estiramento.

Se necessário, o metal é revestido interna e externamente e impresso antes da operação de formação da lata. Ademais, em algumas situações, lubrificantes, como as ceras, podem ser adicionados à superfície externa da folha para melhorá-la. Como uma alternativa ao uso de revestimentos orgânicos líquidos que podem ser aplicados posteriormente, o metal pode ser já fornecido à fábrica de embalagens, na forma de bobinas ou pré-laminado (Oldring & Nehring, 2007).

No processo de embutimento simples ou estampagem simples, o metal envernizado, seja advindo de uma bobina ou de uma chapa, é introduzido no *Minster*, a primeira máquina de corte do processo, onde é cortado em discos que formarão os copos que originam as latas (FIG. 34).

Figura 34 – Corte dos discos e formação dos copos

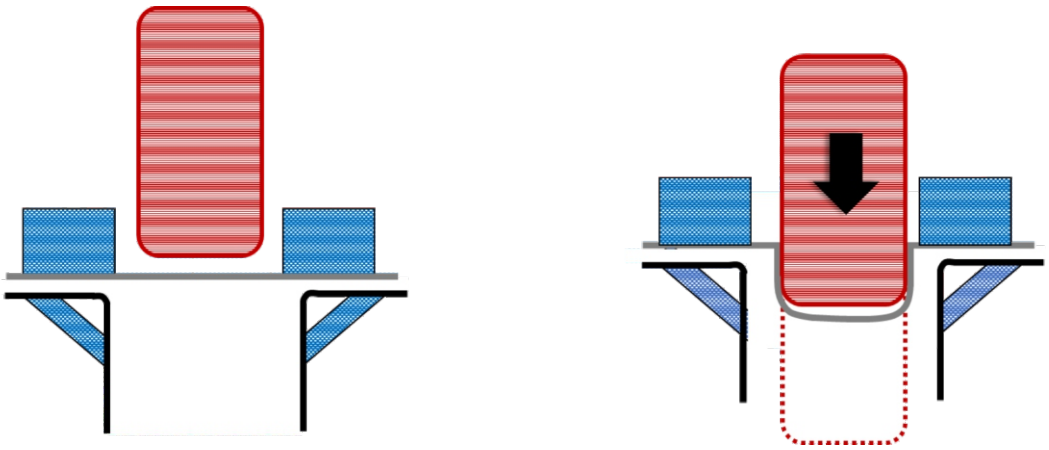


Fonte: Adaptado de Page (2012).

Já o embutimento múltiplo objetiva embalagens mais profundas que o processo anterior. Para isso um conjunto de operações é realizado, tais como estampagem/re-estampagem e estampagem/repuxo (Abramowicz et al., 2013).

No processo de estampagem/re-estampagem, a lata final permanece com a mesma espessura da chapa inicial. Primeiramente, um pistão é forçado contra a chapa metálica. O processo é repetido sucessivas vezes (FIG. 35).

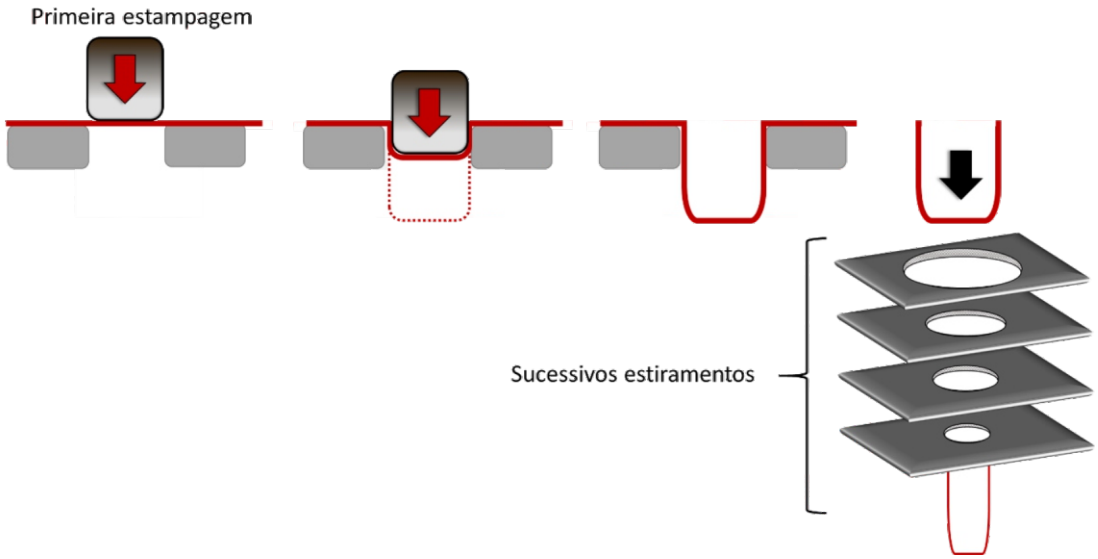
Figura 35 – Estampagem de uma peça de metal



Na primeira estampagem é formado um caneco, que à medida que é re-estampado adquire maior altura e menor diâmetro. A reestampagem é repetida até que a embalagem adquira a altura requerida, sem que se altere a espessura da parede em relação à chapa metálica original (Page, Edwards, & May, 2011).

O processo denominado embutimento/estiramento ou estampagem/repuxo, representado na Figura 36, é aplicado na produção de embalagens de cervejas e refrigerantes e utiliza como matéria-prima chapas de alumínio e folha de flandres. Diferente do processo anterior, na dinâmica do estiramento, a espessura da parede da lata é reduzida (Page, 2012).

Figura 36 – Processos de estampagem/repuxo de embalagens metálicas



De forma geral, as latas são lavadas (quatro a seis vezes) em uma lavadora de vários estágios para remoção de qualquer lubrificante residual. Latas de alumínio também podem sofrer um pré-tratamento durante o processo de lavagem para melhorar a adesão dos revestimentos. A última lavagem é normalmente com água deionizada para criar uma superfície livre de contaminação para o revestimento. Após a secagem, as latas são decoradas externamente e pode ser aplicado o verniz interno, que é aplicado por spray e curado em forno. Na saída da prensa, as bordas superiores são aparadas para que todos os corpos fiquem da mesma altura. Em seguida, a lata segue para a esteira de lavagem, onde é lavada por dentro e por fora. Em uma primeira etapa, ela recebe água e sabão, para retirada do excesso de óleo, depois passa por processos químicos para esterilização. A última etapa do processo de lavagem é o forno de secagem. Nesse momento a temperatura varia entre 400 e 800°C. Depois de lavadas e secas, as latas vão para o processo de pintura dos rótulos (Page et al., 2011; Page, 2012).

5.4.3 Tampa

As tampas são sempre colocadas após o enchimento da lata com os alimentos, e elas constituem uma parte fundamental da embalagem, uma vez que garantem que qualquer ingresso microbiológico potencial seja minimizado.

As extremidades de uma lata são costuradas no corpo para dar uma vedação hermética. A tampa é costurada quando a lata é preenchida. As exceções são latas abertas (por exemplo, latas de doce ou biscoito).

5.4.3.1 Tampas clássicas

Na produção das tampas clássicas, o metal é alimentado por uma prensa que produz múltiplas conformações (FIG. 37).

Figura 37 – Conformações adquiridas após a prensagem



Após a remoção da ferramenta de conformação, as bordas das extremidades são então ligeiramente enroladas e passam por uma máquina de revestimento (Page, 2012).

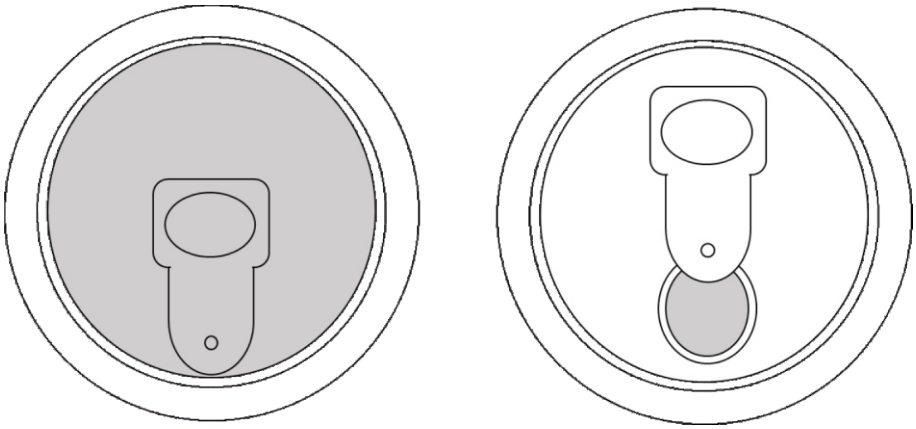
5.4.3.2 Tampas de abertura fácil

As tampas de abertura fácil, criadas nos anos 1960 e fabricadas em alumínio ou em folha de flandres, são principalmente caracterizadas por possuírem uma fácil abertura parcial e por não apresentarem predisposição ao desprendimento da lata. Este tipo de tampa está presente em diversos tipos de embalagens, destacando-se as latas de bebidas, como as de cervejas e refrigerantes (Jorge, 2013).

Para minimizar a incompatibilidade entre diferentes materiais e evitar corrosão, as tampas de abertura fácil são fabricadas em alumínio ou em folha de flandres e são aplicadas, respectivamente, sobre recipientes de alumínio e folha de flandres.

Os princípios utilizados nas tampas clássicas e nas de abertura fácil são semelhantes. As operações de conversão compreendem marcar (cortar parcialmente) o perímetro do painel de abertura e prender uma aba de metal (FIG. 38) que será utilizada para abrir o painel principal. A pontuação é necessária para reduzir a força necessária para abrir a tampa em um nível aceitável. A aba de puxar é feita de uma faixa estreita de alumínio ou aço pré-revestido. (Page et al., 2011).

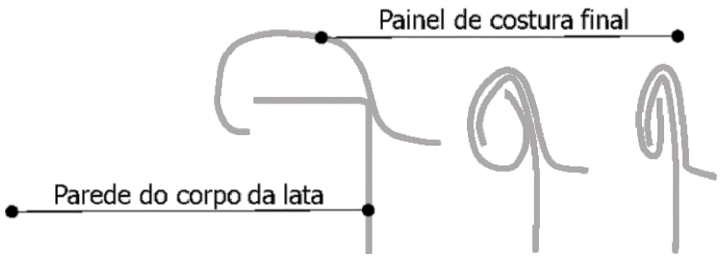
Figura 38 – Estruturas das tampas metálicas de abertura fácil



5.4.3.3 Recravação

O tipo de fechamento mais importante usado para recipientes de metal é a costura dupla ou recravação. É uma etapa importante já que está associada à capacidade da embalagem de bloquear e preservar o frescor dos alimentos acondicionados e ao mesmo tempo protegê-los da entrada de elementos indesejáveis. A recravação é formada por duas operações que entrelaçam as bordas (flanges) da tampa com as bordas do corpo da lata, que são posteriormente comprimidas formando a vedação hermética (Jorge, 2013) (FIG. 39).

Figura 39 – Etapas da recravação



5.5 Embalagens multicamadas

Estruturas multicamadas são frequentemente usadas em embalagens para aproveitar as propriedades de vários materiais de uma só vez. Segundo Landim et al. (2016), as embalagens multicamadas podem ser cartonadas, laminadas, entre outras. As laminadas são formadas pela sobreposição de materiais, como filmes plásticos, metalizado e/ou papel. Já, quando um destes materiais utilizados é um papel cartão estas são denominadas embalagens cartonadas (Landim et al., 2016).

5.5.1 Laminação/revestimento

As operações de revestimento por extrusão e laminação por extrusão são normalmente descritas juntas, uma vez que o equipamento de processo para realizá-las é essencialmente o mesmo. O revestimento por extrusão é a operação pela qual o revestimento de um material termoplástico é aplicado a um substrato, como o papel. Na laminação por extrusão, um segundo substrato é incorporado e ambos são combinados pela ação adesiva do material termoplástico extrusado (Mount III, 2010).

A laminação a quente (*hot melt*), por sua vez, usa um polímero adesivo de baixo peso molecular que não precisa de uma extrusora para derretê-lo e bombeá-lo. O uso mais frequente deste processo é para revestimento com material vedante. Ademais, este tipo de laminação permite o uso de um material com um ponto de fusão muito mais baixo, o que pode ser vantajoso na obtenção de altas taxas de produção (Emblem & Hardwidge, 2012; Moody & Needles, 2004).

Outro tipo de laminação utilizada para a produção das embalagens multicamadas é a laminação adesiva. Esta laminação consiste em utilizar uma solução ou emulsão de um material adesivo proveniente de polímero de baixo peso molecular para revestir a superfície de um substrato, antes da união com o segundo substrato. Se a camada adesiva é seca antes da união da segunda, o processo é chamado de laminação a seco ou colagem. Se as camadas forem unidas enquanto o adesivo ainda estiver molhado, será chamado de laminação úmida. Para laminação úmida, uma das camadas deve ser porosa para permitir a evaporação da água ou do solvente da camada adesiva (Piergiovanni & Limbo, 2016).

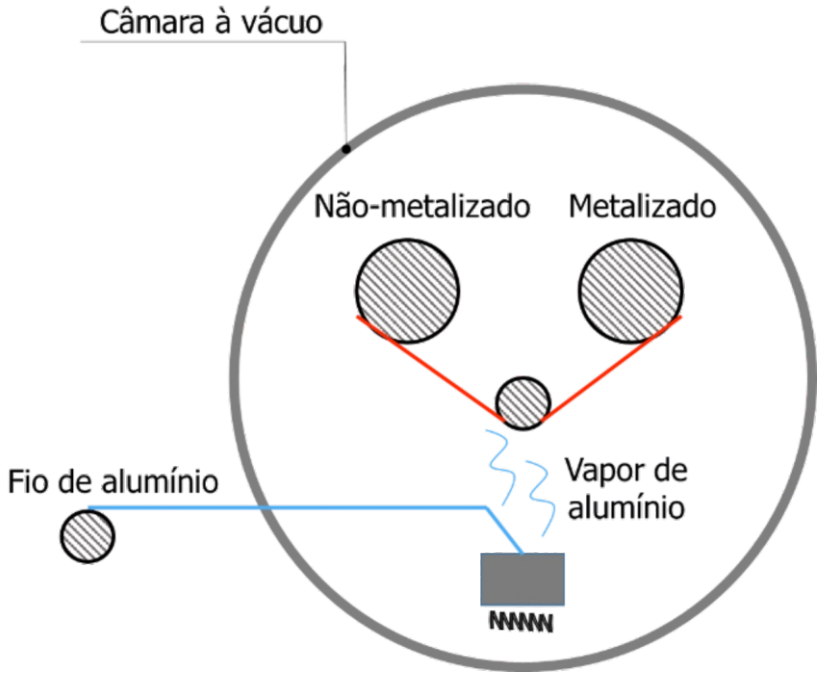
Já na laminação denominada térmica, a energia térmica é usada para unir dois substratos, em um processo análogo ao calor de vedação. Um ou ambos materiais são aquecidos e, em seguida, os dois substratos são pressionados juntos e resfriados. Pelo menos uma das camadas deve conter um plástico na superfície de união que possa ser selado a quente.

5.5.2 Metalização

O filme metalizado contém uma camada extremamente fina de alumínio, que atua para aumentar consideravelmente as características de barreira do material, além de proporcionar uma aparência metálica brilhante. Como a camada é fina, ela não afeta sensivelmente as propriedades mecânicas do filme, como resistência e flexibilidade.

A metalização é feita em uma câmara especial sob vácuo. Como mostrado na Figura 40, partículas de alumínio de um fio que é vaporizado em um cadinho, a cerca de 1700°C, condensam no filme e são metalizadas à medida que passam por um rolo frio (Dixon, 2011).

Figura 40 – Metalização do filme



6. INOVAÇÕES NO SETOR DE EMBALAGENS

Em resposta às demandas dos consumidores, novas tecnologias no setor de embalagens vêm sendo desenvolvidas. As mudanças no estilo de vida e nas práticas de varejo têm atuado como forças motrizes para as inovações e aprimoramento destes materiais, que além da função principal que é proteger, passa a atuar como agente responsável pela extensão da vida útil dos alimentos, através da manutenção e monitoramento de suas propriedades (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014).

As inovações no setor de embalagens começaram a partir do desenvolvimento das máquinas acionadas eletricamente e progrediram até a utilização das latas metálicas, embalagens assépticas, embalagens flexíveis, folhas de alumínio e impressão flexográfica. Avanços ainda mais importantes apareceram no século XX, como a embalagem inteligente, que capta informações do produto e informa ao consumidor/produtor/varejista, e a embalagem ativa, que interage positivamente com o alimento (Brody, Bugusu, Han, Sand, & Mchugh, 2008; Majid, Nayik, Dar, & Nanda, 2018a).

De acordo com Trinetta (2016), as embalagens de alimentos evoluíram e se desenvolveram ao longo de milhares de anos, porém, a utilização de materiais não biodegradáveis e a dificuldade de reciclar a maioria das embalagens disponíveis aumentaram de forma considerável. Como alternativa tangível para diminuir o impacto ambiental e ecológico da produção e descarte destes materiais, surgiram novas tecnologias no setor: as embalagens biodegradáveis e as embalagens sustentáveis. As embalagens biodegradáveis (filmes e coberturas) são aquelas cuja degradação ocorre primariamente pela ação de microrganismos, tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural (Stoll, 2015); já as embalagens sustentáveis são responsáveis por minimizar a geração de resíduos e desperdícios devido a otimização dos seus processos e redução e substituição de alguns materiais (Leal & Evaldt, 2017).

As novas tecnologias no setor de embalagens surgem a partir da demanda dos consumidores e, além de garantir as funções básicas de proteger, conter e facilitar o transporte dos alimentos, proporcionam o aumento da qualidade e vida útil dos mesmos. A aplicação dessas novas tecnologias vem crescendo amplamente nos últimos anos, não só na área de pesquisa, mas também comercialmente, o que favorece o desenvolvimento e criação de novas técnicas, tal como a nanotecnologia.

6.1 Embalagens ativas

Tradicionalmente, as embalagens convencionais têm como principal função proteger os alimentos de qualquer dano, agindo como uma barreira física entre o produto e as condições externas que os circundam (Yildirim & Röcker, 2018). Desta forma, os materiais

utilizados para a confecção destas embalagens devem apresentar interação mínima com o alimento acondicionado, comportando-se como uma barreira inerte (Pelissari, Sartori, Santos, Molina, & Menegalli, 2016). Porém, ao longo das últimas décadas, a demanda dos consumidores por alimentos mais seguros, de alta qualidade, livres de aditivos, com processamento mínimo e com considerável vida útil, tem instigado a busca por novos modelos de embalagens e materiais. Em resposta a essa necessidade, surgiram às embalagens ativas (Yildirim & Röcker, 2018).

Segundo Brody e Budny (1995), as embalagens ativas foram projetadas para corrigir as deficiências existentes nas embalagens passivas. Ótimo exemplo de inovação, estas embalagens interagem positivamente com o produto e o ambiente, melhorando e preservando a qualidade e segurança dos alimentos por mais tempo do que as embalagens convencionais. Este tipo de embalagem não só permite que haja a manutenção dos processos fisiológicos (exemplo: respiração de frutas e vegetais frescos), processos químicos (exemplo: oxidação lipídica) e processos físicos (exemplo: endurecimento do pão, desidratação) dos produtos embalados, mas também permite a manutenção dos aspectos microbiológicos (Bodbodak & Rafiee, 2016).

Os sistemas utilizados nas embalagens ativas podem ser divididos em dois grupos principais: a) sistemas emissores, que adicionam ou liberam compostos no espaço livre da embalagem ou sobre o alimento (exemplos: emissores de dióxido de carbono, antioxidantes, antimicrobianos e conservantes) e; b) sistemas absorvedores, que removem compostos indesejáveis da atmosfera interna da embalagem que poderiam causar a deterioração dos alimentos (exemplos: absorvedores de oxigênio, dióxido de carbono, etileno, umidade e impurezas) (Bodbodak & Rafiee, 2016; Yildirim; & Röcker, 2018). Os compostos utilizados nestes sistemas são responsáveis pela função ativa e podem ser incorporados diretamente na matriz ou através da utilização de um material separado no interior da embalagem, normalmente sachês ou etiquetas (FIG. 41) (Ribeiro-Santos, Andrade, Melo, Sanches-Silva, 2017).

Figura 41 - Formas de incorporação dos agentes ativos nas embalagens



De acordo com Restuccia et al. (2010), a embalagem ativa mais comumente utilizada na indústria alimentícia é a embalagem de atmosfera modificada (MAP). A atmosfera modificada pode ser criada por meios ativos ou passivos. Na modificação passiva, a atmosfera é elaborada devido à própria respiração do fruto ou vegetal no interior da embalagem, bem como através da permeabilidade da embalagem; já a modificação ativa consiste em substituir a atmosfera natural que circunda o alimento por outra mistura de gases de composição pré-determinada com o objetivo de retardar a degradação e preservar as características dos alimentos por mais tempo (Santos & Oliveira, 2012). A mistura específica de gases utilizada nas embalagens de atmosfera modificada ativa depende em cada caso do tipo de produto, dos materiais de embalagem e da temperatura de armazenamento (Oliveira et al., 2015). A composição gasosa destas embalagens normalmente é feita pela utilização de oxigênio (O_2), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2) ou pela combinação destes elementos (Sandhya, 2010). Um dos principais gases utilizados neste tipo de embalagem é o CO_2, já que apresenta efeitos bacteriostáticos e fungistáticos comprovados perante os alimentos (Santos & Oliveira, 2012). Quanto ao O_2 inserido no interior das embalagens, este é principalmente utilizado para realizar a manutenção da cor vermelha nas carnes e para reduzir a perda de líquidos em peixes magros (Santos & Oliveira, 2012). O N_2, por sua vez, permite remover o O_2 presente em embalagens de produtos sensíveis à oxidação e consegue inibir o crescimento de microrganismos aeróbios (Sandhya, 2010; Santos & Oliveira, 2012). De acordo com Sarantópoulos e Cofcewicz (2016), a MAP possui grande utilização, podendo ser aplicada em carnes, aves, pescado, queijos, produtos de panificação, frutas e hortaliças frescas e outras categorias de alimentos.

Uma das principais razões que acarretam a diminuição da qualidade e da vida útil dos alimentos está relacionada com a presença de oxigênio no interior das embalagens (Realini & Marcos, 2014). O oxigênio é responsável pelo desencadeamento das reações de oxidação e pela proliferação de bactérias e bolores aeróbios, problemas que podem resultar em mudanças no sabor, cor, textura e valor nutritivo dos alimentos (Foltynowicz, Bardenshtein, Sängerlaub, Antvorskov, & Kozak, 2017; Hutter, Rüegg, & Yildirim, 2016; Realini & Marcos, 2014). Como estratégia para reduzir a presença de oxigênio no interior das embalagens e nos produtos embalados, surgiram as embalagens com absorvedores de oxigênio; absorvedores estes, que conseguem reduzir a concentração deste gás para menos de 0,1% no interior da embalagem (Foltynowicz et al., 2017; Hutter et al., 2016).

Inicialmente, o desenvolvimento dos sistemas com absorvedores de oxigênio fundamentou-se na utilização de etiquetas autoadesivas ou sachês com a presença dos compostos ativos. Atualmente, além destes mecanismos, os absorvedores de oxigênio podem ser incluídos na própria matriz polimérica durante o processo de fabricação (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014). Os compostos absorvedores são normalmente agentes que reagem com o oxigênio para reduzir sua concentração. O óxido ferroso é atualmente o material mais utilizado (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014). Além dele, podemos citar também o ácido ascórbico, algumas enzimas (glucose oxidase e álcool oxidase), ácidos graxos insaturados (ácido oleico ou linolênico) e leveduras imobilizadas (Realini & Marcos, 2014;

Bodbodak & Rafiee, 2016). A efetividade destes absorvedores já foi comprovada em diversos alimentos, tais como, salame, leite em pó, suco, azeite de oliva, vinhos e iogurtes probióticos (Foltynowicz et al., 2017). Segundo Realini e Marcos (2014), os absorvedores de oxigênio podem ser usados sozinhos ou em combinação com a MAP. O uso combinado garante a remoção quase completa do oxigênio no produto e no interior da embalagem, consequentemente, aumentando suas vidas úteis.

Outro sistema popular de embalagens ativas, amplamente utilizado em frutas e verduras, são as embalagens com absorvedores de etileno. O etileno é o gás responsável por acelerar a taxa de respiração e a subsequente senescência de produtos hortícolas, como frutas, legumes e flores (Bodbodak & Rafiee, 2016). O acúmulo deste gás pode ser associado a um considerável número de reações indesejáveis, como o desenvolvimento de sabores amargos e degradação da clorofila. Consequentemente, a remoção do etileno através de absorvedores pode manter as propriedades organolépticas e prolongar a vida útil dos produtos embalados (Yildirim & Röcker, 2018). A maioria dos absorvedores de etileno disponíveis no mercado baseiam na adsorção física do etileno em diferentes materiais (zeólitos, silicatos, bentonitas, vermiculita, carvão ativo etc.) e posterior reação de oxidação com o permanganato de potássio (KMnO4) (Sarantópoulos & Cofcewicz, 2016). Segundo Wang, Zhou, Zhou, Wei e Ji (2018), o KMnO4 é o principal composto ativo associado a este tipo de embalagem, porém, devido sua toxicidade, não pode ser integrado diretamente na superfície de contato da embalagem, sendo necessário sua incorporação em sachês com sílica (Lloyd, Mirosa, & Birch, 2019).

Ainda baseado nos sistemas absorvedores, existem as embalagens com absorvedores de umidade. O controle de excesso de umidade no interior das embalagens é importante para inibir o crescimento microbiológico e melhorar a maneira de apresentação do produto (Realini & Marcos, 2014). Absorvedores de umidade têm aplicação especialmente em frutas e vegetais íntegros, produtos de panificação frescos, produtos secos e desidratados, carnes, aves e peixes (Restuccia et al., 2010; Sarantópoulos & Cofcewicz, 2016). De acordo com Majid et al. (2018a), argilas naturais, óxido de cálcio e sílica gel são usados como agentes dessecantes no caso de alimentos secos, enquanto, para alimentos com alto teor de umidade, tais como carnes, peixes e aves, são usados reguladores de umidade interna. Estes reguladores, como por exemplo, folhas absorventes, agem diminuindo a perda de umidade do alimento, retendo a umidade relativa desejada e atenuando o conteúdo de umidade presente nos espaços vazios das embalagens.

Quanto aos sistemas emissores, as embalagens antimicrobianas e antioxidantes são as que possuem maior aplicação. Estes sistemas são eficazes na liberação de compostos ativos, emitindo no interior da embalagem apenas a quantidade necessária para evitar o crescimento microbiano ou cessar as reações de oxidação (Coma, 2012).

De acordo com Bodbodak e Rafiee (2016), as embalagens antimicrobianas são embalagens que adicionam compostos ativos e/ou utiliza polímeros ativamente funcionais no sistema para eliminar ou inibir a deterioração causada por microrganismos patogênicos. O uso deste tipo de embalagem possui mais vantagens

quando comparada com a adição direta de agentes antimicrobianos nos produtos, já que a embalagem oferece migração lenta e contínua do agente para as superfícies dos alimentos, consequentemente permitindo alta concentração do composto ativo por mais tempo (Appendini & Hotchkiss, 2002; Realini & Marcos, 2014). Segundo Pelissari et al. (2016), diversos agentes antimicrobianos são passíveis de serem incorporados nas embalagens, incluindo íons metálicos, óleos essenciais, ácidos orgânicos, bactericidas e fungicidas. Polímeros com atividades antimicrobianas também podem ser utilizados para a confecção das embalagens, tais como quitosana e poliamida. As embalagens antimicrobianas podem se apresentar de três maneiras básicas: em forma de (1) sachê contendo substâncias antimicrobianas conectadas à embalagem do alimento (o sachê é responsável pela liberação da substância bioativa durante o armazenamento); (2) filme com incorporação direta do agente antimicrobiano; e (3) coberturas que atuam como transportadoras do agente antimicrobiano (Appendini & Hotchkiss, 2002). Os principais objetivos destas embalagens baseiam-se em garantir a segurança, manter a qualidade e permitir a extensão da vida de prateleira dos alimentos, principalmente os alimentos altamente perecíveis, como carnes, pães, queijos, frutas e vegetais (Baldevraj & Jagadish, 2011; Lloyd et al., 2019; Pelissari et al., 2016).

A fim de melhorar a estabilidade de produtos alimentares sensíveis à oxidação surgiram as embalagens antioxidantes. O princípio desta embalagem fundamenta-se na incorporação de agentes antioxidantes em sachês, almofadas, etiquetas ou em camadas das embalagens com o intuito de retardar ou prevenir o desenvolvimento de ranço ou outra deterioração de sabor proveniente da oxidação do alimento (Ganiari, Choulitoudi, & Oreopoulou, 2017; Gómez-Estaca, López-de-Dicastillo, Hernández-Muñoz, Catalá, Gavara., 2014; Vilela et al., 2018). Os agentes utilizados nas embalagens podem ser de natureza sintética ou natural. Alguns dos mais populares antioxidantes sintéticos são os compostos fenólicos, tais como, hidroxi-anisole butilado (BHA), hidroxi-tolueno butilado (BHT), mono-terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e galato de propilo (PG) (Coma, 2012). No entanto, nos últimos anos, a utilização de antioxidantes sintéticos tem sido extremamente questionada pelos consumidores, devido ao seu potencial risco à saúde. Esta preocupação tem instigado o mercado de embalagens a substituir estes agentes pelos naturais. Atualmente, os principais agentes naturais utilizados nas embalagens são os tocoferóis, extratos de plantas, óleos essenciais e resíduos agroindustriais (Ganiari et al., 2017; Majid et al., 2018a). A aplicação destes agentes em embalagens é principalmente realizada para conservar e estender a vida útil de produtos cárneos, produtos minimamente processados e produtos com alto teor de lipídeos (Coma, 2012; Ganiari et al., 2017; Pelissari et al., 2016).

Alguns sistemas de embalagens ativas já estão aplicados em produtos comercialmente disponíveis (TAB. 3), outros, apesar de não serem encontrados nos comércios, vem sendo amplamente estudados e desenvolvidos (TAB. 4). Segundo Sarantópoulos e Cofcewicz (2016), o avanço na utilização das embalagens ativas ainda é limitado, pois muitas vezes pode entrar em conflito com as restrições legais relativas à segurança dos alimentos.

Tabela 3 – Aplicações comerciais das embalagens ativas

Tipo de embalagem ativa	Nome comercial	Forma de atuação	Empresa	Informações
Absorvedor de oxigênio	O_2Block®	Aditivo	NanoBioMatters	Tecnologia baseada em argila de filossilicato que é regulada com ferro ativo para criar um produto de remoção de oxigênio de origem natural e altamente eficiente.
Absorvedor de etileno	BioFresh®	Sacos	Active Pack International	Embalagem que absorve gases como o etileno, amônia e sulfeto de hidrogênio, que são os principais gases catalisadores no processo de amadurecimento de frutas e vegetais.
Absorvedor de umidade	Fresh-R-Pax®	Bandejas absorventes	Maxwell Chase Technologies	As bandejas mantêm o frescor e prolongam a vida útil dos produtos minimamente processados por até 14 dias. O sistema absorve o excesso de fluido dos produtos em compartimentos localizados na parte inferior da embalagem.
Antimicrobiana	Nanox Clean	Nanopartículas de prata	Nanox	Nanopartículas de prata são incorporadas em forma de pó nas matrizes de PEAD para produzir as garrafas que embalam o leite da empresa Agrindus. Seu uso garante o dobro da vida útil do produto.
Emissor de dióxido de carbono	CO_2 Fresh pads	Pads de emissão de CO_2	CO_2 Technologies	O sistema libera dióxido de carbono a taxas previsíveis ao longo do tempo para inibir o crescimento de bactérias em itens perecíveis. Quando o CO_2, um "antimicrobiano natural", entra em contato com a umidade na superfície dos alimentos, a atmosfera é afetadae as bactérias cessam o crescimento.
Absorvedor de oxigênio	Aegis OXCE	Resina	Honeywell	É uma poliamida com absorvedor de oxigênio formulada especificamente para uso em aplicações de embalagem de alto desempenho, onde é necessária alta barreira a gás. Osistema oferece alta barreira ao oxigênio, boa barreira ao dióxido de carbono, fácil processamento e excelente resistência à delaminação.

Tabela 4 – Pesquisas desenvolvidas na área das embalagens ativas

Tipo da embalagem ativa	Material ou forma da embalagem*	Composto ativo adicionado	Forma de aplicação do composto ativo	Alimento	Referência
Antimicrobiana e antioxidante	Filme composto de quitosana e celulose	Ácido caféico	Incorporação direta na matriz	Emulsão de óleo em água	Yu et al. (2013)
Antimicrobiana	Sacos de polipropileno	Metabissulfito de sódio combinado com ácido cítrico, extrato de chá verde, óleo essencial de canela e extrato de cenoura roxa	Compostos dispersos em pequeno pedaço de papel ou pedaço de PET, inseridos no interior da embalagem	Cogumelos	Wrona, Bentayeb e Nerín (2015)
Absorvedor de oxigênio e emissor de etanol	1- PVDC/nylon/PP 2- Nylon / PEBD	Etanol (MaxxLive®) e composto absorvedor de oxigênio (OS BestKept®)	Sachês	Pão de ló	Janjarasskul, Tananuwong, Kongpensook, Tantratian e Kokpol (2016)
Antimicrobiana	Filme de amido de batata	Sorbato de potássio e ácido cítrico	Incorporação do líquido diretamente na matriz	Panetone	Saraiva *et al.* (2016)

Continua

Continuação

Tipo da embalagem ativa	Material ou forma da embalagem*	Composto ativo adicionado	Forma de aplicação do composto ativo	Alimento	Referência
Absorvedor de oxigênio	Bandejas de PS -EVOH-PE envolvidas em filmes de PET / PE-EVOH-PE	Paládio	Etiquetas	Presunto	Hutter *et al.* (2016)
Antioxidante	Filme de quitosana	Bagaço de azeitona	Farinha e micropartículas	Nozes	Crizel *et al.* (2018)
Atmosfera modificada (absorvedor de umidade e etileno)	Filme de PVC	Sílica em gel e permanganato de potássio	Sachês	Goiaba	Murmu e Mishra (2018)

*PVdC: policloreto de vinilideno; PP: polipropileno; PEBD: polietileno de baixa densidade; PS: poliestireno; EVOH: etileno-vinil álcool; PE: polietileno; PET: polietileno tereftalato; PVC: policloreto de vinila.

6.2 Embalagens inteligentes

Desde o início do milênio, as inovações no setor de embalagens de alimentos têm favorecido gradualmente o desenvolvimento das embalagens inteligentes (Vanderroost, Ragaert, Devlieghere, & Meulenaer, 2014). Estas embalagens são definidas como sistemas que fornecem informações sobre os produtos acondicionados e avisa sobre possíveis problemas que podem ocorrer no alimento ou no meio que o circunda durante sua vida de prateleira (Bodbodak & Rafiee, 2016). Um sistema de embalagem inteligente é capaz de detectar, registrar, rastrear ou trazer informações sobre a qualidade e/ou o estado do produto durante toda a cadeia alimentar. A embalagem não só fornecerá informações sobre o produto em si (origem, data de validade teórica, composição), mas também será capaz de informar sobre o seu histórico (condições de armazenamento, composição do espaço livre, crescimento microbiano, etc.) (Realini & Marcos, 2014). De forma geral, o objetivo principal das embalagens inteligentes é indicar e monitorar através de dispositivos as propriedades e condições em que os alimentos são submetidos, o que facilita a tomada de decisão dos consumidores na hora da compra dos produtos embalados (Dainelli, Gontard, Spyropoulos, Zondervan-Van Den Beuken, & Tobback, 2008).

De acordo com Dobrucka e Cierpiszewski (2014), os dispositivos das embalagens inteligentes podem ser baseados em sensores, indicadores de tempo e temperatura, corantes de detecção de gás, indicadores de crescimento microbiano, indicadores de impacto físico e em vários exemplos de tecnologias à prova de violação, anti-falsificação e antifurto. No entanto, destacam-se os sensores, indicadores e os sistemas de identificação por radiofrequência (Kerry, O'Grady, & Hogan, 2006; Vanderroost et al., 2014).

O sensor é definido como um dispositivo capaz de detectar, localizar ou quantificar energia ou matéria (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014). Este dispositivo contém duas partes funcionais principais, o receptor e o transdutor (Biji et al., 2015). No receptor, a informação física ou química é transformada em uma forma de energia, que pode ser medida pelo transdutor. O transdutor por sua vez é capaz de transformar a energia em um sinal analítico útil (Kerry et al., 2006). De acordo com Otles e Sahyar (2016), o mecanismo de detecção pelos sensores pode ser físico, biológico ou bioquímico, permitindo identificar componentes alimentares, gases ou até mesmo contaminantes.

Dentre os sensores aplicados nas embalagens de alimentos, destacam-se: (i) biossensores utilizados para identificar os microrganismos patogênicos; (ii) sensores de gases, capazes de detectar a presença de analito gasoso no interior das embalagens; (iii) sensores químicos que por adsorção superficial conseguem detectar a presença, atividade, composição e a concentração de um produto químico específico; e (iv) os narizes eletrônicos, que permitem o reconhecimento de sabores, odores e aromas (Biji et al., 2015).

Quanto aos indicadores, estes são dispositivos que sinalizam a ausência ou presença de uma substância estranha, ou indica através de mudança de cor se houve alguma reação entre dois ou mais compostos (Biji et al., 2015). Ao contrário dos sensores, os indicadores não conseguem fornecer informações quantitativas. Eles fornecem através da mudança da coloração ou da mudança da intensidade da cor, informações visuais imediatas e informações qualitativas dos alimentos (Vanderroost et al., 2014). Os indicadores podem interagir com fatores internos (componentes do alimento e metabólitos presentes no interior da embalagem) e externos (meio ambiente). Como resposta a essa interação, este dispositivo gera uma informação que se correlaciona com o estado do alimento (Romero, Ros-Lis, Vivancos, Martínez-Máñez, 2017). Os principais indicadores encontrados na indústria de embalagens alimentícias são os indicadores de tempo-temperatura, indicadores de frescor e as tintas termocrômicas (Lloyd et al., 2019).

Os indicadores de temperatura mostram se os produtos foram aquecidos acima ou resfriados abaixo de uma temperatura de referência (crítica), alertando os consumidores sobre a potencial sobrevivência de microrganismos patogênicos e desnaturação de proteínas durante, por exemplo, processos de congelamento ou descongelamento (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014). Indicadores de frescor, por sua vez, fornecem informações sobre a qualidade do produto, crescimento microbiano ou mudanças químicas que podem ocorrer durante o armazenamento (Lloyd et al., 2019). A indicação de frescor baseia-se numa alteração de cor do indicador devido à presença dos metabólitos microbiológicos como dióxido de carbono, dióxido de enxofre, aminas, ácidos orgânicos, etanol, toxinas ou enzimas produzidas durante a deterioração (Otles & Sahyar, 2016). Cada indicador de frescor será exclusivo para cada tipo de produto, por exemplo, um indicador criado para armazenamento de frutos do mar reagirá às aminas voláteis produzidas, enquanto um indicador de contaminação microbiológica de carnes reagirá com CO_2 gerado durante o armazenamento (Biji et al., 2015; Lloyd et al., 2019).

A tinta termocrômica é uma tinta dinâmica que muda de cor com a exposição a diferentes temperaturas. As temperaturas de ativação das tintas podem variar desde baixas temperaturas de refrigeração a altas temperaturas de aquecimento (Lloyd et al., 2019). Segundo Vanderroost et al. (2014), as tintas termocrômicas podem ser aplicadas nas embalagens como forma de garantir que o consumidor saiba que uma bebida está "perfeitamente refrigerada", ou até mesmo para alertar que um pacote no micro-ondas atingiu a temperatura desejada ou está muito quente. Em alguns casos, a mudança de cor é ainda acompanhada pela exibição simultânea de uma mensagem curta, como por exemplo, "pronto para consumir" (Ghaani, Cozzolino, Castelli, & Farris, 2016).

Outro dispositivo que pode ser utilizado nas embalagens são os sistemas por radiofrequência. Estes sistemas utilizam sensores sem fio para permitir rastreamento, registro e informações sobre o produto ao longo da sua cadeia produtiva e de seu armazenamento (Lloyd et al., 2019). Os indicadores de radiofrequência são baseados em etiquetas e leitores. As etiquetas apresentam algum tipo de número de identificação e com base neste número, o leitor pode recuperar as informações sobre o produto (Biji et al., 2015). O uso deste dispositivo permite transmitir informações precisas e em tempo real aos consumidores, varejistas e distribuidores (Dobrucka & Cierpiszewski, 2014). De acordo com Lloyd et al. (2019), os sistemas por radiofrequência podem ser classificados como passivos, não necessitando de uma fonte de bateria, ou ativos, necessitando de bateria para alimentar o sistema. No setor de alimentos, este dispositivo surgiu principalmente a fim de reforçar a segurança alimentar e melhorar a eficácia da cadeia de fornecimento (Majid et al., 2018a).

Além dos indicadores, sensores e dispositivos de radiofrequência, os sistemas de aquecimento e resfriamento podem ser introduzidos nas embalagens de forma a torná-las embalagens inteligentes. Estes sistemas permitem o aquecimento ou o resfriamento do alimento embalado (Majid et al., 2018a). Latas de cervejas e refrigerantes e os recipientes de cafés e chás, são ótimos exemplos de embalagens que podem possuir, respectivamente, os dispositivos de arrefecimento e auto aquecimento (Mahalik & Nambiar, 2010).

Os dispositivos de aquecimento são inseridos no interior da embalagem, dentro destes sistemas há dois compartimentos, em um dos compartimentos se apresentam os compostos, como óxido de cálcio ou magnésio, e no outro, a água. Quando esta divisão é desfeita, o composto reage com a água, gerando uma reação exotérmica (que libera calor), consequentemente, aquecendo o produto. Já a embalagem com auto resfriamento é baseada no uso de dessecante natural para extrair o calor da bebida através de um evaporador (Brody et al., 2008; Majid et al., 2018a).

Apesar de representar um custo adicional, as embalagens inteligentes vêm ganhando nos últimos anos espaço nas prateleiras dos supermercados. Algumas destas embalagens podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Embalagens inteligentes comercialmente disponíveis

Categoria	Nome Comercial	Empresa	Informações
Indicador de frescor	RipeSense®	Jenkins Group	Etiqueta que muda de cor para indicar a maturação da fruta. O rótulo funciona reagindo aos aromas liberados pela fruta à medida que ela amadurece. Inicialmente, o rótulo é vermelho, passa a laranja e por fim pode chegar a coloração amarela.
	SensorQ™	Food Quality Sensor	É uma etiqueta adesiva aplicada ao interior dos pacotes de carne e aves para fornecer ao consumidor uma indicação do frescor do produto através dos compostos gasosos gerados pelas bactérias no interior da embalagem.
	FreshTag®	COX Technologies	Indicadores de cor que detectam a produção de aminas voláteis comuns a todos os frutos do mar. As aminas reagem com o indicador à base de corantes alimentares e, gradualmente, produz uma reação de cor, indicando que os frutos do mar estão além do ponto de frescor consumível.
Indicar de gás	O_2Sense™	Fresh Point Lab	Etiqueta que fornece uma indicação visual por meio de uma mudança de cor se a quantidade de oxigênio presente em uma embalagem de alimentos lacrada está dentro dos limi tes especificados.
Indicador tempo - temperatura	3M™MonitorMark ™	3M	Ocorre a precipitação de um composto azul sobre uma etiqueta para estimar quanto tempo um produto ficou acima de 31ºC.
	Fresh-Check	LifeLines	Indicador autoadesivo composto por uma zona que escurece de forma irreversível e mais rápida a temperaturas mais altas e mais lenta a temperaturas mais baixas.
	Timestrip®PLUS ™	Timestrip Plc	Indicadores projetados para monitorar a cadeia do frio. Alertam sobre uma violação de temperatura, mas também exibem o tempo de duração que a cadeia foi violada.
Tintas termocrômicas	Chromicolor®	Matsui International Company	Tinta que muda de cor quando exposta a temperatura fria ou quente.

6.3 Embalagens biodegradáveis

Durante muitos anos, os plásticos como o poliestireno (PS), polietileno (PE), polipropileno (PP) e o polietileno tereftalato (PET) vêm sendo amplamente utilizados para confecção das embalagens de alimentos. Porém, o uso exacerbado destes materiais traz consigo consequências imensuráveis para o meio ambiente, já que são normalmente provenientes de fontes não renováveis, e após serem usados e descartados, necessitam de centenas de anos para se degradarem (Rocha, Souza, & Prentice, 2018). Além disso, como demonstrado em recentes pesquisas, os plásticos podem se quebrar em minúsculas partículas, denominadas microplásticos, que entram no corpo humano por meio de alimentos, da água que bebemos e do ar que respiramos e que tendem a se espalhar pela corrente sanguínea humana e se fixar nos órgãos, trazendo malefícios à nossa saúde (Amato-Lourenço et al., 2021; Leslie et al., 2022).

O aumento de resíduos não-biodegradáveis e a dificuldade de reciclar a maioria das embalagens sintéticas disponíveis no mercado têm impulsionado o desenvolvimento de novos materiais e de novas embalagens, como por exemplo, as embalagens biodegradáveis

(Pelissari, Andrade-Mahecha, Sobral, & Menegalli, 2013).

As embalagens biodegradáveis são aquelas em que a degradação ocorre primariamente pela ação de microrganismos, tais como bactérias, fungos e algas de ocorrência natural, e após a degradação, podem ser usadas como húmus ou adubo quando compostadas (Majid, Thakur, & Nanda, 2018b; Stoll, 2015). De acordo com Pelissari et al. (2016), o uso das embalagens biodegradáveis oferece uma série de vantagens, tais como, originam-se de fontes renováveis, são capazes de transportar aditivos alimentares (por exemplo, antioxidantes e antimicrobianos), fornecem nutrientes adicionais e podem ser comestíveis.

Os biopolímeros naturais mais usados para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis são as proteínas, polissacarídeos e lipídios, que podem ser aplicados separadamente ou em conjunto (Sung et al., 2013). Estes materiais são obtidos a partir de fontes naturais renováveis como celulose, batata e cana-de-açúcar, e podem ser também sintetizados por bactérias a partir de pequenas moléculas como o ácido butírico ou o ácido valérico, ou até mesmo, derivados de fonte animal, como a quitina, a quitosana e proteínas. Outros polímeros biodegradáveis podem ser produzidos a partir de fontes fósseis ou da mistura entre biomassa e petróleo (TAB. 6) (Landim et al., 2016).

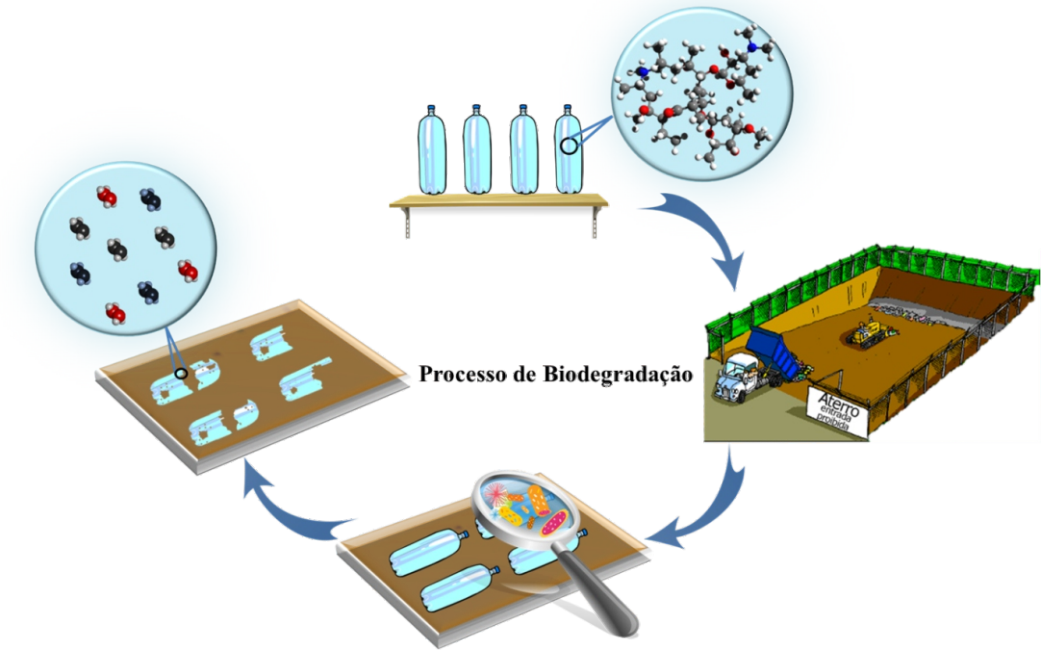
Tabela 6 – Materiais utilizados nas embalagens biodegradáveis e suas características

Classe do material	Nome do material	Características	Referência
Polímero natural	Amido	Polissacarídeo de baixo custo e grande disponibilidade, podendo ser proveniente de várias fontes, tais como: mandioca, batata e milho. O amido possui grande capacidade de formar um filme inodoro, incolor e transparente, porém sozinho não produz filmes com considerável resistência mecânica e, portanto, é frequentemente misturado com outros materiais ou aditivos.	Majid *et al*. (2018b)
	Quitosana	Polissacarídeo empregado para a produção de filmes ou revestimentos comestíveis com altas propriedades de barreira. Além disso, a quitosana possui propriedades antimicrobianas.	Majid *et al.* (2018b)
	Celulose	A celulose é um dos biopolímeros mais abundantes na natureza e atua como um material de reforço. Formam revestimentos que apresentam barreira à umidade, O_2 e a óleos.	Janjarasskul e Krochta (2010)
	Proteínas (colágeno, proteína do leite, soja, caseína, etc)	Embalagem à base de proteínas têm excelentes propriedades de barreira aos gases, mas (exceto a queratina) são adversamente afetadas por sua natureza hidrofílica. Portanto, precisam ser misturadas com outros polímeros ou devem ser modificadas química ou microbiologicamente.	Majid *et al.* (2018b)
Polímero sintético	Poliácido láctico (PLA)	Polímero de alta biodegradabilidade e biocompatibilidade. O PLA pode ser processado por termoformagem, extrusão, moldagem por injeção ou por sopro. Os filmes de PLA têm melhores propriedades de barreira à luz ultravioleta do que o polietileno de baixa densidade (PEBD). Tem baixas temperaturas de fusão e transição vítrea.	Mahalik e Nambiar (2010)
	Policaprolactona (PCL)	Poliéster alifático completamente biodegradável obtido de fontes não renováveis, como o petróleo bruto. Normalmente não é empregado para embalar produtos alimentícios, mas quando misturado com amido, produz um material bastante biodegradável que é usado principalmente para sacos de lixo. Além disso, oferece boa resistência química ao óleo e água.	Pawar e Purwar (2013)

A utilização destes biopolímeros para a produção de embalagens pode proporcionar a elaboração de coberturas e filmes biodegradáveis. As coberturas são aplicadas e formadas diretamente sobre o alimento, enquanto os filmes são pré-formados separadamente e posteriormente aplicados sobre o produto (Krochta & Mulder-Johnston, 1997).

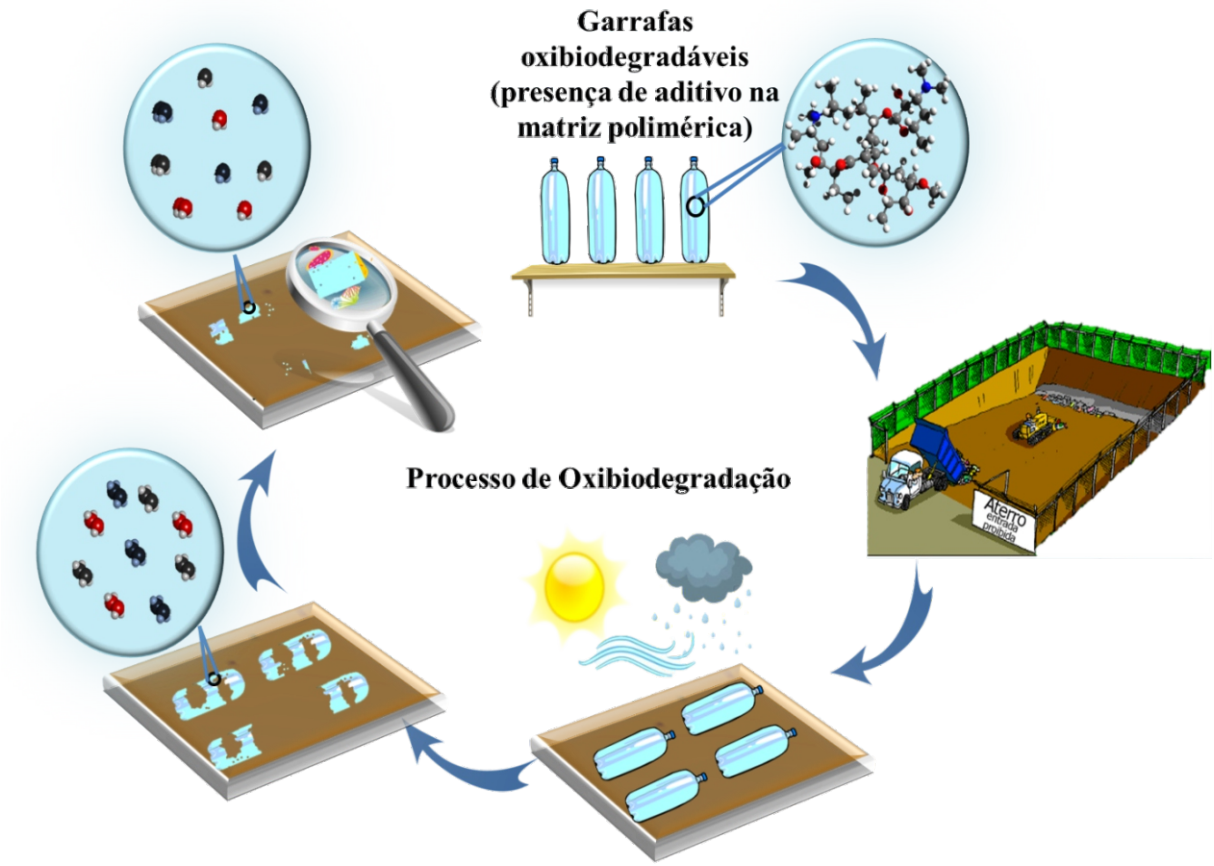
Uma nova vertente das embalagens biodegradáveis que vem ganhando espaço nos supermercados, seja pelo seu uso como sacolinhas plásticas ou pelo acondicionamento direto de alimentos, são as embalagens oxibiodegradáveis. Tal como as embalagens biodegradáveis, estas têm como objetivo diminuir o impacto ambiental causado pelos polímeros sintéticos. Para isso, são incorporados aditivos especiais aos termoplásticos padrões a fim de acelerar os processos de degradação que poderiam levar centenas de anos para ocorrer. Nestes materiais, o primeiro estágio de degradação é iniciado pelas influências químicas, físicas e físico-químicas do meio ambiente (luz e radiação solar, temperatura, presença de água, oxigênio, etc.) para promover o processo de oxidação. Ao romper a cadeia polimérica devido a este processo, o peso molecular torna-se baixo o suficiente para permitir a degradação pelos microrganismos do ecossistema onde a embalagem foi depositada (Portillo & Yashchuk, 2016). As diferenças entre o processo de degradação das embalagens biodegradáveis e oxibiodegradáveis podem ser observadas pela Figura 42 e Figura 43, respectivamente. De forma geral, o aditivo incorporado na matriz polimérica das embalagens oxibiodegradáveis permite que fatores ambientais, tais como o oxigênio, quebrem as longas cadeias dos polímeros. As cadeias poliméricas mais curtas conseguem ser degradadas pelos microrganismos mais facilmente, consequentemente, o processo de degradação ocorre de forma mais rápida.

Figura 42 – Processo de degradação das embalagens biodegradáveis após seu descarte



Fonte: O autor (2022)

igura 43 – Processo de degradação das embalagens oxibiodegradáveis após seu descarte



Fonte: O autor (2022)

6.4 Embalagens sustentáveis

Nas últimas décadas, mais do que nunca, a população tem se interessado em adquirir produtos baseados no desenvolvimento sustentável. Dentre os inúmeros produtos existentes com este conceito, destacamos as embalagens (Abhijith, Ashok, & Rejeesh, 2018). O empenho em reduzir o impacto ambiental causado pela sua utilização fez com que algumas indústrias adequassem sua cadeia produtiva à produtos e processos menos agressivos, garantindo assim, a produção das embalagens sustentáveis (Zavadil & Silva, 2013; Landim et al., 2016).

As embalagens sustentáveis são aquelas que por meio dos processos de melhoria contínua e utilizando novas tecnologias buscam maximizar a distribuição do produto, a segurança

do consumidor e minimizar a geração de resíduo e desperdício, incentivando a destinação final adequada, oferecendo o reaproveitamento de seu material e não provocando efeitos indesejáveis ao meio ambiente (Leal & Evaldt, 2017).

Segundo Martinho, Pires, Portela e Fonseca (2015), quando aplicado à embalagem, o conceito de sustentabilidade deve ser alcançado por meio da eficiência em todos os processos existentes ao longo do seu ciclo de vida. Dessa forma, as embalagens sustentáveis produzidas devem ser passíveis de serem recuperadas após a utilização, devem utilizar materiais oriundos de fontes ambientalmente corretas e, além disso, devem ser fabricadas, transportadas e recicladas utilizando energia renovável (Landim et al., 2016).

Além da diminuição do impacto ambiental, as práticas sustentáveis em embalagens podem impulsionar a criação de um novo mercado de compradores engajados com os princípios e ideais da empresa (Abhijith et al., 2018). A produção dessas embalagens demonstra ser também uma estratégia de marketing para divulgação das marcas das companhias e de seus produtos (Landim et al., 2016). Como um dos principais exemplos, temos a empresa brasileira Natura, que ao se pensar em sustentabilidade no setor de cosméticos, sempre será lembrada pelo consumidor devido a sua linha Ekos, que utiliza desde embalagens recicláveis até embalagens provenientes de "polímeros verdes".

Dentre as estratégias mais utilizadas pelas indústrias para produzir embalagens com conceito sustentável, encontram-se a produção de embalagens recicláveis (aquelas que podem ser reaproveitadas e usadas para produzir novos artigos), embalagens biodegradáveis (que causam menor impacto durante o seu descarte), e os polímeros verdes. Os polímeros verdes podem ser classificados como sustentáveis, pois durante sua síntese, processamento ou degradação produzem menor impacto ambiental que os polímeros convencionais, já que durante sua produção há absorção de CO_2 e menor utilização de matérias-primas de origem fóssil (Landim et al., 2016).

Algumas empresas no setor de alimentos vêm utilizando as embalagens sustentáveis para acondicionar seus produtos, não só para diminuir o impacto ambiental, mas também para atender as exigências dos consumidores. A Coca-Cola é uma dessas empresas, que nos últimos anos diminuiu o consumo de água e energia para produção das embalagens, além disso, trabalha com um portfólio de embalagens 100% recicláveis. Exemplos específicos de embalagens sustentáveis na empresa são as garrafas "Plant bottle", que possuem em sua composição até 30% de matéria-prima proveniente da cana-de-açúcar, as garrafas de água da linha "eco crystal", que apresentam 20% menos de polietileno tereftalato (PET) que as versões anteriores e até 30% de matéria-prima originária da cana-de-açúcar. A Activia da Danone é outra linha que incluiu o conceito sustentável nas suas embalagens, utilizando o polietileno verde da Braskem nos seus recipientes de iogurte. A mesma estratégia é utilizada pela linha de pães da Nutrella do grupo Bimbo.

Além das empresas que utilizam as embalagens para acondicionar os alimentos, existem empresas especializadas em apenas produzir estas embalagens para que posteriormente sejam usadas. A Oka Bioembalagens é uma dessas empresas, sediada em Botucatu, no

interior de São Paulo, produz recipientes à base de mandioca (produto de carácter renovável), como solução para substituir o isopor. Outra empresa engajada na produção de embalagens sustentáveis que vão desde tampas e acessórios até recipientes para acondicionar sorvetes é a Estilo Pack. A Estilo Pack é uma companhia situada em Barueri e fornece embalagens biodegradáveis, compostáveis e recicláveis. Seguindo a linha de embalagens compostáveis, a empresa Ybá, especializada em design e pesquisa, desenvolveu as embalagens Botiá. Muito parecidas com ninhos de aves, estas embalagens usadas principalmente para acondicionar frutas, vegetais e ovos, são feitas a partir de fibra de coco e amido. A sua grande vantagem é que pode voltar para a fábrica, porque a sua solubilidade em água permite que a fibra seja reutilizada, ou pode ser colocada diretamente no solo, sem causar qualquer dano, pois é um produto 100% natural, passível de ser compostado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Ao longo dos anos, a indústria de alimentos tem registrado inúmeras inovações no mercado, incluindo inovações no setor de embalagens. As embalagens se mostram como um dos principais agentes responsáveis pela segurança e qualidade dos produtos alimentícios, consequentemente, seu desenvolvimento influencia diretamente a vida útil dos produtos embalados. Embalagens ativas, inteligentes e com conceito sustentável vêm sendo desenvolvidas desde o século XX, no entanto, pesquisas ainda são realizadas e novas técnicas aplicadas, de forma a melhorar ainda mais suas funções e aplicações.

Progressos recentes em nanociência e engenharia de superfície são uma grande promessa para resolver alguns dos problemas significativos enfrentados pela indústria alimentícia em geral, principalmente no setor de embalagens. A nanotecnologia permite aos cientistas projetar a nanoestrutura dos materiais de embalagem, com intuito de aprimorar suas funções, alcançar propriedades mecânicas e de barreiras desejáveis e facilitar o transporte de compostos bioativos. Ademais, essa nova tecnologia se mostra uma ótima alternativa por ser barata, relativamente segura, limpa e por apresentar retorno financeiro consideravelmente alto.

A utilização de micro ou nanotecnologia surge como uma das novas tendências em relação à incorporação de compostos ativos em filmes e coberturas. Esta técnica aumenta a área de superfície do antioxidante ou antimicrobiano, de modo que quantidades menores de compostos são necessárias para obter a mesma funcionalidade na embalagem ativa.

O avanço atual no setor de embalagens inteligentes depende principalmente do melhoramento e criação de novos dispositivos, já que o seu desenvolvimento pode proporcionar uso facilitado, maior reprodutibilidade, menor custo de produção, maior segurança e diversos outros benefícios para o setor. No caso das embalagens inteligentes, o uso de nanotecnologia é principalmente realizado através dos nanosensores. Estes dispositivos têm sido desenvolvidos e utilizados como alternativas potenciais na diminuição da sobrecarga dos métodos padrões, pois apresentam tempo de resposta rápido, mostram-se altamente sensíveis, robustos e fáceis de usar.

Apesar dos avanços, para uma aplicação comercial significativa, o desenvolvimento e design de embalagens com nanotecnologia ainda tem que superar vários desafios, entre eles, os efeitos desconhecidos dos nanomateriais, processos de migração, segurança e o princípio de funcionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhijith, R., Ashok, A., & Rejeesh, C. R. (2018). Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: A review. Materials Today: Proceedings, 5(1), 2139–2145.

ABPO - Associação Brasileira de Papelão Ondulado. (2019). Recuperado em 7 abril, 2019, de http://www.abpo.org.br

Abramowicz, D. A., Jenkins, L., Ambrose, K., Bucklow, I., Benge, T., Fields, B.,..., & Ramsey, C. (2013). Innovations and trends in metal packaging for food, beverages and other fast-moving consumer goods. In: N. Farmer (Ed.), Trends in Packaging of Food, Beverages and other Fast-moving Consumer Goods (FMCG) (pp. 153–186). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. (2020). Dados do setor. Recuperado em 5 julho, 2021, de https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. (2019). A embalagem. Recuperado em 1 abril, 2019, de http://www.abre.org.br/setor/apresentacao-do-setor/a-embalagem

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. (2020). Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo. Recuperado em 4 julho, 2021, de https://www.abre.org.br/dados-do-setor/ano2019/

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem. (2021). Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo. Recuperado em 4 julho, 2021, de https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/

Adey, W. H., & Loveland, K. (2007). The envelope: Physical parameters and energy state. In: W. H. Adey & K. Loveland (Eds.), Dynamic Aquaria: Building and Restoring Living Ecosystems (pp. 13-42). Academic Press.

Ahmad, Z. (2006). Coatings. In: Z. Ahmad (Ed.), Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control (pp. 382-437). Butterworth Heinemann.

Akerman, M. (2000). Apostila de natureza, estrutura e propriedades do vidro. CETEV (Centro Técnico de Elaboração do Vidro).

Alava, M., Niskanen, K. (2006). The physics of paper. Rep. Prog. Phys. 69, 669.

Al-Sabagh, A. M, Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., & Elmetwally, A. E. (2016). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. Egyptian Journal of Petroleum, 25, 53-64.

Amato-Lourenço, L. F., Carvalho-Oliveira, R., Ribeiro Júnior, F., Falvão, L. S., Ando, R. A., Mauad, T. (2021). Presence of airborne microplastics in human lung tissue. Journal of Hazardous Materials, 416, 126124.

Aoyama, S., Park, Y. T., Ougizawa, T., & Macosko, C. W. (2014). Melt crystallization of poly(ethylene terephthalate): Comparing addition of graphene vs. carbon nanotubes. Polymer, 55, 2077-2085.

Appendini, P., & Hotchkiss, J. H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 3(2), 113–126.

Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). (2008). NBR 5985. Embalagem de papelão ondulado - Terminologia. Rio de Janeiro, 2008.

Aurela, B., & Söderhjelm, L. (2007). Food packaging inks and varnishes and chemical migration into food. In: K. A. Barnes, C. R. Sinclair, & D.H. Watson (Eds.), Chemical Migration and Food Contact Materials (pp. 302-319). Cambridge: UK: Woodhead Publishing.

Baldevraj, R. S. M., & Jagadish, R. S. (2011). Incorporation of chemical antimicrobial agents into polymeric films for food packaging. In: J.-M. Lagarón (Ed.) Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging (pp. 368–420). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Bajpai, Pratima (2018). Biermann's Handbook of Pulp and Paper. Paper and Board Grades. 177–185.

Bedia, E. L., Murakami, S., Kitade, T., & Kohjiya, S. (2001). Structural development and mechanical properties of polyethylene naphthalate/polyethylene terephthalate blends during uniaxial drawing. Polymer, 42, 7299-7305.

Begum, S. A., Rane, A. V., Kanny, K. (2020). Applications of compatibilized polymer blends in automobile industry. In Compatibilization of Polymer Blends - Micro and Nano Scale Phase Morphologies, Interphase Characterization and Properties, 563-593.

Berger, K. R. (2005). A brief history of packaging. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, p. 1–20.

Berk, Z. (2018). Food packaging. In: Z. Berk (Ed.), Food Process Engineering and Technology (pp. 625-641). London, UK: Academic Press.

Biji, K. B., Ravishankar, C. N., & Mohan, C. O. (2015). Smart packaging systems for food applications: A review. Journal Food Science and Technology, 52(10), 6125-6135.

Bodbodak, S., & Rafiee, Z. (2016). Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. In: M. W. Siddiqui (Ed.), Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality (pp. 77–125). Londres, UK: Academic Press.

Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017). Pipeline design and construction. In: M. J. Brandt, K. M. Johnson, A. J. Elphinston, & D. D. Ratnayaka,

(Eds.), Twort's Water Supply (pp. 693-742). Oxford, UK: Butterworth Heinemann.

Brems, D., & Degryse P. (2013). Trace element analysis in provenancing roman glass-making. Archaeometry, 56, 116–136.

Brody, A. L., & Budny, J. A. (1995). Enzymes as active packaging agents. In: M. L. Roney (Ed.), Active food packaging (pp. 174–192). Boston: Springer.

Brody, A. L., Bugusu, B., Han, J. H., Sand, C. K., & Mchugh, T. H. (2008). Innovative food packaging solutions. Journal of Food Science, 73(8), 107-116.

Brunelle, D. J., & Korn, M. R. (2005). Advances in Polycarbonate: An overview (1a ed.). New Orleans: American Chemical Society.

Buchheit, R. G. (2012). Corrosion resistant coatings and paints. In: M. Kutz (Ed.), Handbook of Environmental Degradation of Materials (539-568). Waltham, MA: William Andrew Publishing.

Cabral, A. C. D. (1984). Apostila de embalagem para alimentos (p.335). Campinas: ITAL.

Campos, E. D., Foelkel, C. A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil. Edison da Silva Campos, Celso Foelkel – ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo, Brasil. 2017.

Cantor, K. M., & Watts, P. (2011). Plastics processing. In: M. Kutz (Ed.), Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials (pp. 195–203). Whaltham, MA: William Andrew

CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclar. Taxas de reciclagem. Recuperado em 12 julho, 2021, de https://cempre.org.br/.

Coles, R., & Kirwan, M. (2011). Food and beverage packaging technology (2a ed.). Oxford, Inglaterra: Wiley-Blackwell.

Coma, V. (2012). Antimicrobial and antioxidant active packaging for meat and poultry. In: J.P. Kerry (Ed.), Advances in meat, poultry and seafood packaging (pp. 477–503). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Coutinho, F. M. B., Mello, I. L., Maria, L. C. L. (2003). Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. Polímeros.

Crizel, T. de M., Rios, A. de O., Alves, V. D., Bandarra, N., Moldão-Martins, M., & Flôres, S. H. (2018). Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. Food Hydrocolloids, 74, 139–150.

Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-Van Den Beuken, E., & Tobback, P. (2008). Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns. Trends in Food Science and Technology, 9, 103-112.

Dantas, S.T. Avaliação do processo de interação e estudos de estabilidade. In: S. T. Dantas, J. A. B. Gatti, & E. S. Saron. (1999). Embalagens Metálicas e a sua Interação com Alimentos e Bebidas (pp. 173-188). Campinas: CETEA/ITAL.

Dantas, S.T., Anjos, V.D.A., Segantini, E., & Gatti, J.A.B. (1996). Avaliação da qualidade de embalagens metálicas: Aço e alumínio (p. 313). Campinas: CETEA/ITAL.

Digimarc. The History of Packaging. Disponível em: https://www.digimarc.com/resources/history-of-packaging. Acessado em 2016.

Dixon, J. (2011). Packaging materials: Multilayer packaging for food and beverages. ILSI Europe Report Series, 44.

Dobrucka, R., & Cierpiszewski, R. (2014). Active and intelligent packaging food – Research and development – A review. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 64(1), 7–15.

Drobny, J. G. (2020). Applications of Fluoropolymer Films. Properties, Processing, and Products.

Dutia, P. (2012). Polycarbonate resins: a techno-commercial profile (1a ed, 188-193). Chemical Weekly.

Ebnesajjad, S. (2003). Injection molding. In: S. Ebnesajjad (Ed.), Melt Processible Fluoroplastics (pp. 151-193). Norwich, NY: William Andrew.

EcoEnclose. (2021). What is Glassine? Recuperado em 12 julho, 2021, de https://www.ecoenclose.com/blog/what-is-glassine/

Emblem, A., & Emblem, H. (2012). Packaging technology: Fundamentals, materials and process. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Emblem, A., & Hardwidge, M. (2012). Adhesives for packaging. In: A. Emblem, & H. Emblem, Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes (pp. 381-394). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

EU - Directive 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste (Text with EEA relevance) (Brussels, L 150, 14 June) Off. J. Eur. Union, 64 (2018), pp. 141-154.

Eustine, D. (2008). The future of glass forming technology for the manufacture of lightweight containers. Glass Technology Services.

Farinha e Silva, C. A., Bueno, J. M., Neves, M. R. A. (2015). Indústria de celulose e papel no brasil na primeira década do século XXI: a indústria de celulose e papel no Brasil. Guia ABTCP - Fornecedores & Fabricantes - Celulose e Papel. Recuperado em 12 julho, 2021, de https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_ABTCP_Panorama_Setorial.pdf.

Featherstone, S. (2012). A review of development in and challenges of thermal processing over the past 200 years - A tribute to Nicolas Appert. Food Research International, 47, 156-160.

Fellows, P. J. (2017). Packaging. In: P. J. Fellows (Ed.), Food Processing Technology (4 ed., pp. 949–1044). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.

Figueiredo, A. B., Evtuguin, D. V., Monteiro, J., Cardoso, E. F., Mena, P. C., & Cruz, P. (2011). Structure−surface property relationships of kraft papers: Implication on impregnation with phenol−formaldehyde resin. Industrial & Engineering Chemistry Research, 50, 2883-2890.

Fink, J. K. Poly(naphthalates). (2008). In: J. K. Fink (Ed.), High Performance Polymers (pp. 347-390). Norwich, EUA: William Andrew.

Foltynowicz, Z., Bardenshtein, A., Sängerlaub, S., Antvorskov, H., & Kozak, W. (2017). Nanoscale, zero valent iron particles for application as oxygen scavenger in food packaging. Food Packaging and Shelf Life, 11, 74–83.

Franco, I., & Falqué, E. (2016). Effect of different types of glass container on food shelf life. In: I. Franco, & E. Falqué (Eds.), Reference Module in Food Science. Elsevier.

FPF – Food packaging Forum. (2016). Dossier – Can coatings. 1-10

Ganiari, S., Choulitoudi, E., & Oreopoulou, V. (2017). Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. Trends in Food Science & Technology, 68, 70-82.

Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Plastics, 3, 7, e1700782.

Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. Trends in Food Science & Technology, 51, 1–11.

Grayhurst, P. (2012). Glass packaging, In: Packaging Technology, Woodhead Publishing, 109-121.

Giannopapa, C. G., & Groot, H. (2011). Modeling the blow-blow forming process in glass container manufacturing: A comparison between computations and experiments. Journal of Fluids Engineering, 133, 1-8.

Giatti, R. (1996): New fluorochemicals for greaseproof papers. Investigacion y Tecnica del Papel, 33., 401-414.

Girling, P. J. (2003). Packaging of food in glass containers. In: R. Coles, D. Mcdowell, & M. J. Kirwan (Eds.), Food Packaging Technology. Oxford: Blackwell Publishing.

Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. Trends in Food Science and Technology, 35(1), 42–51.

Gorgulho, C. F., & Verde, F. R. V. (2018). Embalagens. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial-INPI.

Goswami, T. K., Mangaraj, S. (2011). Advances in polymeric materials for modified atmosphere packaging (MAP). In Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging. Grayhurst, P., & Girling, P. J. (2011). Packaging of food in glass containers. In: Food and Beverage Packaging Technology (pp. 137-156). Blackwell Publishing.

Griffin, R. C. Jr., & Sacharow, S. (1980). Principles of Food Packaging. A V I Publishing Company.

Griffin, R.C. (1985). Principles of Package Development (2a Ed). Springer Science.

Groover, M. P. (2010). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems (4a ed.). John Wiley & Sons, INC.

Guler, K. A. (2016). Lost foam casting (Disposable pattern). In: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering (pp. 4641-4644). Elsevier.

Gupta, R. K., & Dudeja, P. (2017). Food packaging. In: R. K. Gupta, P. Dudeja, & A. S. Minhas (Eds.), Food Safety in the 21st Century (p. 547–553). Elsevier Inc.

GVR – Grand View Research. (2021). Green Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report by Type (Recycled Content, Reusable, Degradable), by Application (Food & Beverages, Healthcare), by Region, and Segment Forecasts, 2020 – 2027. Recuperado em 05 julho, 2021, de https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/green-packaging-market/

Hahladakis, J. N., & Iacovidou, E. (2018). Closing the loop on plastic packaging materials: What is quality and how does it affect their circularity? Science of The Total Environment, 630, 1394-1400.

Hernandez, R. J., Selke, S. E., & Lawal, S. A. (2001). Packaging: Papers for sacks and bags. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 6642-6646.

Hernandez, R. J., Selke, S. E., & Lawal, S. A. (2018). Packaging: Papers for sacks and bags. In: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier.

Hutter, S., Rüegg, N., & Yildirim, S. (2016). Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham. Food Packaging and Shelf Life, 8, 56–62.

IBA – Indústria Brasileira de árvores. Reciclagem do papel: do cidadão à indústria. Recuperado em 12 julho, 2021, de http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Info_reciclagem_Pt.pdf.

IBA – Indústria Brasileira de árvores. (2020). Relatório anual. Recuperado em 12 julho, 2021, de https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf.

IBÁ- Indústria Brasileira de Árvores. (2017). Relatório 2017. Resíduos sólidos.

International Organization for Standardization- ISO. (2012). ISO 536:2012- Paper and board- Determination of grammage. Genebra: ISO.

Inuwa, I. M, Hassan, A., Wang, D., Samsudin, S. A., Haafiz, M. K. M., Wong, S. L., & Jawaid, M. (2014). Influence of exfoliated graphite nanoplatelets on the flammability and thermal properties of polyethylene terephthalate/polypropylene nanocomposites. Polymer Degradation and Stability, 110, 137-148.

Janjarasskul, T., & Krochta, J. M. (2010). Edible packaging materials. Annual Review of Food Science and Technology, 1(1), 415–448.

Janjarasskul, T., Tananuwong, K., Kongpensook, V., Tantratian, S., & Kokpol, S. (2016). Shelf-life extension of sponge cake by active packaging as an alternative to direct addition of chemical preservatives. LWT - Food Science and Technology, 72, 166–174.

Jorge, N. (2013). Embalagens para alimentos. São Paulo: Cultura Acadêmica.

Kerry, J. (2012). Aluminium foil packaging. In: Packaging Technology (pp. 163–177). Woodhead Publishing Limited.

Kerry, J. P., O'Grady, M. N., & Hogan, S. A. (2006). Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. Meat Science, 74(1), 113–130.

Khwaldia, K., Arab-Tehrany, E., & Desobry, S. (2010). Biopolymer coatings on paper packaging materials. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 9, 82-91.

Kirman, M. J. (2011). Paper and paperboard packaging. In: R. Coles, & M. J. Kirman (Eds.), Food and Beverage Packaging Technology (pp. 213-250). Chichester, UK: Blackwell Publishing.

Kirwan, Mark J. (2005). In: Paper and Paperboard Packaging Technology, Chichester, UK: Blackwell Publishing.

Kirwan, M. J. (2003). Food packaging technology. Oxford: Blackwell Publishing.

Kopper, G., & Ariosti, A. (2010). Food packaging legislation: Sanitary aspects. In: C. E. Boisrobert, A. Stjepanovic, S. Oh, & H. L.M. Lelieveld (Eds.), Ensuring Global Food Safety: Exploring Global Harmonization (pp. 227-261). Londres: Academic Press.

Krochta, J. M., & Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. Food Technology,51, 61–74.

Laípuria, M., Anantherswaran, R., & Floros, J. (2012). Packaging technologies and their role in food safety. Microbial Decontamination on Food Industry, 701-745.

Lakind, J. S. (2013). Can coatings for foods and beverages: Issues and options. International Journal Technology Policy Manager, 13, 80-95.

Landim, A. P. M., Bernardo, C. O., Martins, I. B. A., Francisco, M. R., Santos, M. B., & Melo, E. N. R. (2016). Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. Polímeros, 26, 82–92.

Leal, C., & Evaldt, A. C. P. (2017). O consumo e o descarte de embalagens: um estudo de caso. Revista Gestão, Sustentabilidade e Negócios, 5(2), 144–169.

Leivo, E., Wilenius, T., Kinos, T., Vuoristo, P., & Mantyla, T. (2004). Properties of thermally sprayed fluoropolymer PVDF, ECTFE, PFA and FEP coating. Progress in Organic Coatings, 49, 69-73.

Leks-Stepien, J. L. (2013). Paper packaging materials and food safety. Journal of Science Technology, 48-51.

Leslie, H. A., Van Velzen, M. J. M., Bransma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., Lamoree, M. H., (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environment International, 107199.

Licari, J. J., & Swanson, D. W. (2011). Chemistry, formulation, and properties of adhesives. In: J. J. Licari, & D. W. Swanson (Eds.), Adhesives Technology for Electronic Applications: Materials, Processing, Reliability (pp. 75-141). Waltham, EUA: William Andrew.

Lloyd, K., Mirosa, M., & Birch, J. (2019). Active and intelligent packaging. In: L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), Encyclopedia of Food Chemistry (pp. 177–182). Academic Press.

López-Fonseca, R., Duque-Ingunza, I., De-Rivas, B., Flores-Giraldo, L., & Gutiérrez-Ortiz, J. I. (2011). Kinetics of catalytic glycolysis of PET wastes with sodium carbonate. Chemical Engineering Journal, 168, 312-320.

Mahalik, N. P., & Nambiar, A. N. (2010). Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. Trends in Food Science & Technology, 21(3), 117–128.

Majid, I., Nayik, G. A., Dar, S. M., & Nanda, V. (2018a). Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17(4), 454–462.

Majid, I., Thakur, M., & Nanda, V. (2018b). Biodegradable packaging materials, In: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering (pp. 1-11). Elsevier.

Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging- Roles, materials, and environmental issues. Journal of Food Science, 72, 39-55.

Martinho, G., Pires, A., Portela, G., & Fonseca, M. Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling. (2015). Resources, Conservation and Recycling, 103, 58–68.

Mary, R., & Lima, R. de. (2001). "A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos: Um estudo de caso." 3° Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto.

Matsuoka. S. (2002). Mechanical relaxation processes in polymers. In: S. Z. D. Cheng (Ed.), Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry (pp. 111-146). Amsterdam: Elsevier Science B. V.

Mattos, R. L. G., & Valença A. C. V. (1999). O segmento de cartões para embalagem. Rio de Janeiro: Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDS.

Matyjaszewski, K. (1989). Carbocationic polymerization: Styrene and substituted styrenes. Comprehensive Polymer Science and Supplements, 3, 639-671.

McKeen, L. W. (2012). Polyamides (nylons). In: L. W. McKeen (Ed.), Film Properties of Plastics and Elastomers: Plastics Design Library (pp. 157-180). Whaltam, EUA: William Andrew.

McKeen, L. W. (2014). Polyamides (nylons). In: L. W. McKeen (Ed.), The Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers: Plastics Design Library (pp. 233-240). Whaltam, EUA: William Andrew.

McKeen, L. W. (2010). Polyesters. In: Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers: Plastics Design Library (pp. 99-147). Whaltam, EUA: William Andrew.

McMurtrie, D. (1982). O Livro (2. ed). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Moretti C. (2001). Glossario del vetro veneziano. Dal Trecento al Novecento. Veneza: Marsilio.

Mestriner, F. (2004). Design de embalagem: Curso avançado (2a ed.). São Paulo: Prentice Hall Brasil.

Miroslava, H., & Miroslava, V. (2017) Influence of fining agents on glass. Melting: a review, part 1. Ceramics-Silikáty, 61(2), 119-126.

Moody, V., & Needles, H. L. (2004). Hot melt coating. In: Tufted Carpet: Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes (pp. 125-131). Whaltam, EUA: Willian Andrew.

Mount III, E. (2010). Coextrusion equipment for multilayer flat films and sheets. In: Multilayer Flexible Packaging: Plastics Design Library (pp. 75-95). Whaltam, EUA: Willian Andrew.

Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018). Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava during low- temperature storage. Food Chemistry, 253, 55–62.

Negrão, C., & Camargo, E. (2008). Design de embalagem: Do marketing a produção. São Paulo: Editora Novatec.

NS Packaging. (2020). From Amcor to WestRock, ranking the world's ten biggest packaging companies by revenue. Recuperado em 05 julho, 2021, de https://www.nspackaging.com/analysis/biggest-packaging-companies-revenue/

Nunes, E. C. D., Agnelli, J. A. M., & Rossi, R. A. (1998). Poli(etileno naftalato) - PEN: Uma revisão do seu histórico e as principais tendências de sua aplicação mundial. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 55-67.

Nunes, L. R., Rodolfo, A. Jr., & Ormanji, W. (2002). Tecnologia do PVC. São Paulo: ProEditores / Braskem.

Ohionline. Ohio State University Extension. A History of Packaging. Recuperado em 05 de julho, 2021, de https://ohioline.osu.edu/factsheet/cdfs-133

Ohtsuka, T. (2012). Corrosion protection of steels by conducting polymer coating. International Journal of Corrosion, 5, 1-7.

Oldring, P. K. T., & Nehring, U. (2007). Metal packaging for foodstuffs. In: Packaging Materials. ILSI Europe Report Series.

Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables - A review. Trends in Food Science and Technology, 46 (1), 13–26.

Otles, S., & Sahyar, B. Y. (2016). Intelligent food packaging. In: V. Scognamiglio, G. Rea, F. Arduini, & G. Palleschi (Eds.), Comprehensive Analytical Chemistry (pp. 377–387). Elsevier.

Ottenio, D., Escabasse, J. Y., & Podd, B. (2004). Paper and board for food packaging applications. In: Packaging Materials. ILSI Europe Report Series.

Ouellette, R. J., & Rawn, J. D. (2015). Synthetic polymers. In: Organic Chemistry Study Guide (pp. 587-601). Elsevier.

Owen, T. H., & Boyd, K. (2013). Beverage Container Review Report (1a ed). Thompson Rivers University Publications.

Page, B. (2012). Rigid metal packaging. In: Packaging Technology (pp. 122–162.). Woodhead Publishing Limited.

Page, B., Edwards, M., & May, N. (2011). Metal packaging. In: Food and Beverage Packaging Technology (pp. 107-135). Blackwell Publishing.

Paine, F.A. (1991). The Packaging user's Handbook (1a ed.). London: Blackie Academic & Professional.

Paine, F. A., & Paine, H. Y. (1992). A Handbook of Food Packaging (2a ed). Springer Science.

Parker, T. (2020). Analysis. Amcor to WestRock, Ranking the World's Ten Biggest Packaging Companies by Revenue. Recuperado em 05 julho, 2021, de https://www.nspackaging.com/analysis/biggest-packaging-companies-revenue/

Pawar, P. A., & Purwar, A. H. (2013). Biodegradable polymers in food packaging. American Journal of Engineering Research, 2 (5), 151–164.

Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (Musa paradisiaca). Food Hydrocolloids, 30 (2), 681–690.

Pelissari, F. M., Sartori, T., Santos, F. H., Molina, G., & Menegalli, F. C. (2016). Active bio-packaging. In: Inamuddin (Ed.), Green Polymer Composites Technology: properties and applications. Boca Raton: CRC Press.

Pereira, J. (2013). Consumo de cola (g/m2) no papelão ondulado. Revista O Papel. Assessor técnico da Associação Brasileira do Papelão Ondulado (ABPO).

Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2016). Food packaging materials (p. 78). Springer International Publishing.

Portillo, F., & Yashchuk, O. (2016). Evaluation of the rate of abiotic and biotic degradation of oxo-degradable polyethylene. Polymer Testing, 53, 58–69.

Prasad, Eswara. (2016). Green packaging market by application (food and beverage, personal care, health care, and others) and by packaging type (recycled content packaging (paper, plastic, metal, glass, and others), reusable packaging (drums, plastic containers, and others). Advanced Packaging and Tracking Technologies, 135.

Raheem, D. (2012). Application of plastics and paper as food packaging materials – An overview. Emirates Journal of Food and Agriculture, 25, 177-188.

Realini, C. E., & Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. Meat Science, 98 (3), 404–419.

Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., Puoci, F., Vinci, G., & Picci, N. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. Food Control, 21(11), 1425–1435.

Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Melo, N. R. de, & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. Trends in Food Science and Technology, 61, 132–140.

Riley, A. (2012a). Plastics manufacturing processes for packaging materials. In: Packaging Technology (pp. 310–360). Woodhead Publishing Limited.

Riley, A. (2012b). Packaging Technology. In: Paper and paperboard packaging (pp.178–239). Woodhead Publishing Limited.

Risch, S. J. (2009). Food packaging history and innovations. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57, 8089–8092.

Robertson, G. L. (2018). Definitions, functions, attributes and environments of food packaging. Reference Module in Food Science, 1–5.

Robertson, G. L. (2006). Food packaging: Principles and Practice (2a ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Robertson, G. L. (2013). Food packaging: Principles and Practice (3a ed). New York: Taylor & Grancis Group.

Robertson, G. L. (2010). Food packaging and shelf-life: A practical guide. Boca Raton, FL: CRC Press.

Rocha, M., Souza, M. M. de, & Prentice, C. (2018). Biodegradable films: An alternative food packaging. In: A. M. Grumezescu, & A. M. Holban (Eds.), Food Packaging and Preservation (pp. 307–342). Elsevier.

Romero, E. P., Ros-Lis, J. V., Vivancos, J., & Martínez-Máñez, R. (2017). Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. Journal of Cleaner Production, 72, 3398-3409.

Rosato, D., Rosato, D. V., & Rosato, M. V. (2004). Extrusion. In: Plastic Product Material and Process Selection Handbook (pp. 227-281). Elsevier.

Sacha, A. G., Miller, R., Clemmer, W., Abram, K., & Akers, M. (2016). Practical fundamentals of glass packaging. In: I. Franco, & E. Falqué, Glass Packaging.

Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. LWT - Food Science and Technology, 43(3), 381–392.

Santos, J. S., & Oliveira, M. B. P. (2012). Alimentos frescos minimamente processados embalados em atmosfera modificada. Brazilian Journal of Food Technology, 15(1), 1–14.

Santos, W., Souza, J. A., & Grogorio, Jr. R. (2013). Thermal conductivity behavior of polymers around glass transition and crystalline melting temperatures. Polymer Testing, 32, 987–994.

Saraiva, L. E. F., Naponucena, L. de O. M., Santos, V. da S., Silva, R. P. D., Souza, C. O. de, Lima, I. E. G., Souza, M. E. de, & Mamede, J. I. D. O. (2016). Development and application of edible film of active potato starch to extend mini panettone shelf life. LWT - Food Science and Technology, 73, 311–319.

Sarantópoulos, C., & Cofcewicz, L. S. (2016). Embalagens ativas para produtos perecíveis. Informativo CETEA, 28(3), 1–12.

Sarantópoulos, C. I. G. L., & Rego, R. A. (2012). Brasil Pack Trends 2020 (1a ed.). Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos- ITAL.

Sastri, V. R. (2014). Commodity thermoplastics: Polyvinyl chloride, polyolefins, and polystyrene. In: Plastics in Medical Devices: Properties, Requirements and Applications (pp. 73-120). William Andrew.

Sastri, V. R. (2014). Engineering thermoplastics: Acrylics, polycarbonates, polyurethanes, polyacetals, polyesters, and polyamides. In: Plastics in Medical Devices: Properties, Requirements and Applications (pp. 121-172). William Andrew.

Selke, S. E. M. (2001). Recycling of paper products. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 8069-8074.

Selke, S. E. M., & Culter, J. D. (2016). Plastics packaging: Properties, processing, applications, and regulations (3a ed). Cincinnati: Hanser Publications.

Sem, S. K., & Raut, S. (2015). Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 3, 462-473.

Shelby, J. E. (1997). Introduction to glass science and technology. Inglaterra: The Royal Society of Chemistry.

Siegel, J., Slepička, P., Heitz, J., Kolská, P., Sajdl, P., & Švorčík, V. (2010). Gold nano-wires and nano-layers at laser-induced nano-ripples on PET. Applied Surface Science, 256, 2205–2209.

Singh, R. (2016). Stainless steels. In: Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards (pp. 83-90). Butterworth Heinemann.

Slepička, P., Chaloupka, A., Sajdl, P., Heitz, J., Hnatowicz, V., & Švorčík, V. (2011). Angle dependent laser nanopatterning of poly(ethylene terephthalate) surfaces. Applied Surface Science, 257, 6021–6025.

Slepička, P., Rebollar, R., Heitz, J., & Švorčík, V. (2008). Gold coatings on polyethyleneterephthalate nano-patterned by F2 laser irradiation. Applied Surface Science, 254, 3585–3590.

Sodeik, M., Taeffner, K., & Weber, F. Fundamentals of modern can making and materials development for two-piece can manufacturing. (1988). Transactions of ISU, 28, 672-677.

Soroka, W. (1999). Paper and paperboard. In: A. Emblem, & H. Emble (Eds.), Fundamentals of packaging technology. Herndon: Institute of Packaging Professionals.

Sousa, L. C. F. S., Sousa, J. da S., Borges, M. da G. B., Machado, A. V., Silva, M. J. S. da, Ferreira, R. T. F. V., & Salgado, A. B. (2012). Tecnologia de embalagens e conservação de alimentos quanto aos aspectos químico e microbiológico. ACSA- Agropecuária Científica no Semi-Árido, 8(1), 19–27.

Starosta, W., Wawszczak, D., Sartowska, B., & Buczkowski, M. (1999). Investigations of heavy ion tracks in polyethylene naphthalate films. Radiation Measurements, 31, 149-152.

Stoll, L. (2015). Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis com antioxidantes extraídos a partir de bagaço de uva, um resíduo da indústria vitivinícola. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

Sung, S.-Y., Sin, L. T., Tee, T.-T., Bee, S.-T., Rahmat, A. R., Rahman, W. A., Tan, A.-C., & Vikhraman, M. (2013). Antimicrobial agents for food packaging applications. Trends in Food Science & Technology, 33 (2), 110-123.

Szabo, T. L. (2005). Processing. In: Plastics (pp. 133-173). Butterworth Heinemann.

Tajeddin, B. (2011). Cellulose based polymers for packaging applications. In: V. K., Thakur (Ed.), Lignocellulosic Polymer Composites: Processing, Characterization, and Properties (pp. 213-250). Blackwell Publishing.

Thakur, S., Verma, A., Sharma, B., Chaudhary, J., Tamulevicius, S., & Thakur, V. K. Recent developments in recycling of polystyrene based plastics. (2018). Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 13, 32-38.

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends Food Science and Technology, 14, 71-82.

Thébault, M., Kandelbauer, A., Müller, U., Zikulnig-Rusch, E., & Lammer, H. (2017). Factors influencing the processing and technological properties of laminates based on phenolic resin impregnated papers. European Journal of Wood and Wood Products, 75, 785-806.

Trinetta, V. (2016). Definition and function of food packaging. In: Reference Module in Food Science (pp. 1–2). Elsevier.

Truman, J. E. (1976). Stainless steels. In: Corrosion: Metal/Environment Reactions (pp. 31-63). Newnes.

Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., & Meulenaer, B. de. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. Trends in Food Science & Technology, 39(1), 47–62.

Vibhakara, H. S., & Bawa, A. S. (2006). Manufacturing jams and jellies (1ª ed.). Oxford: Blackwell Publishing.

Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., C, M. D., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M. K., & Freire, C. S. R. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. Trends in Food Science & Technology, 80, 212–222.

Wagner, J. R., Mount III, E. M., & Giles Jr, H. F. (2014a). Sheet and cast film. In: Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook. William Andrew.

Wagner, J. R., Mount III, E. M., & Giles Jr, H. F. (2014b). Extrusion blow molding. In: Extrusion: The Definitive Processing Guide and Handbook (pp. 593-601). William Andrew.

Wallis, G., Weil, D., & Madi, L. F. C. (2012). O mercado de embalagem no Brasil. Brasil Pack Trends 2020 (pp. 11-41). Campinas: ITAL.

Wang, S., Zhou, Q., Zhou, X., Wei, B., & Ji, S. (2018). The effect of ethylene absorbent treatment on the softening of blueberry fruit. Food Chemistry, 246, 286–294.

Wang, R-M., Zheng, S-R., & Zheng, Y. P. (2011). Matrix materials. In: Polymer Matrix Composites and Technology (pp. 101-167). Woodhead Publishing.

Wani, A. A., Singh, P., & Langowski, H. C. (2013). Food technologies: Packaging. Encyclopedia of Food Safety, 3, 211–218.

Watckins, T. (2012). Corrugated board packaging. In: Packaging Technology:Fundamentals, Materials and Processes (240-261). Woodhead Publishing.

Welt, B. (2005). A brief history of packaging. Institute of Food and Agricultural Sciences, Document ABE321. University of Florida, USA.

Wrona, M., Bentayeb, K., & Nerín, C. (2015). A novel active packaging for extending the shelf-life of fresh mushrooms (Agaricus bisporus). Food Control, 54, 200–207.

WWF - World Wide Fund for Nature. Conheça os benefícios da coleta seletiva. Recuperado em 05 julho, 2021, de https://www.wwf.org.br/?14001/

Wyrwa, J., & Barska, A. (2017). Packaging as a source of information about food products. Procedia Engineering, 182, 770–779.

Xanthos, M. (2000). Polymer processing. In: C. Craver, & C. Carraher (Eds.), Applied Polymer Science: 21st Century (pp. 355–371). Oxford, UK: Elsevier Science.

Yildirim, S., & Röcker, B. (2018). Active packaging. In: M. Â. P. R. Cerqueira, J. M. Lagaron, L. M. P. Castro, & A. A. M. de O. S. Vicente (Eds.), Nanomaterials for Food Packaging (pp. 173–202). Amsterdam: Elsevier.

Yu, S. H., Hsieh, H. Y., Pang, J. C., Tang, D. W., Shih, C. M., Tsai, M. L., Tsai, Y. C., & Mi, F. L. (2013). Active films from water-soluble chitosan/cellulose composites incorporating releasable caffeic acid for inhibition of lipid oxidation in fish oil emulsions. Food Hydrocolloids, 32(1), 9–19.

Zavadil, P., & Silva, R. P. (2013). Identificação e sistematização de diretrizes para o design de embalagens sustentáveis. Design & Tecnologia, 3(5), 35–47.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.008

CAPÍTULO 8

TECNOLOGIA DE NANO E MICROENCAPSULAÇÃO DE INGREDIENTES ALIMENTARES: MÉTODOS, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

Keyla Carvalho Pereira[1]; Amanda Souza Félix[1]; Geovana Thais da Silva[1]; Hugo José Martins Carvalho[1]; Guilherme Carneiro[1]; João Vinícios Wirbitzki da Silveira[1]; João Henrique Picado Madalena Santos[2]; Joyce Maria Gomes da Costa[1*].

Resumo

O termo encapsulamento era aplicado na ciência da biotecnologia e farmacêutica para designar a proteção de ingredientes sensíveis, medicamentos e entrega de vacinas bem como para tornar os processos de produção mais eficientes. Atualmente, a nano e micro-encapsulação são classificadas como tecnologias emergentes empregadas nas diversas áreas do conhecimento como a farmacêutica, médica, cosméticos, agroindústria e de alimentos. No setor alimentício, por exemplo, essas tecnologias estão relacionadas com a busca de ingredientes e produtos seguros e saudáveis, além de desenvolver diversos métodos obtidos por pesquisas, melhorando a qualidade e entrega do alimento, já que a partir dessas tecnologias ocorre a proteção do agente ativo ao qual pode se degradar pela interação com fatores ambientais como o calor, umidade, ar, luz, entre outros. Neste capítulo serão apresentados conceitos, métodos e análises relacionadas a tecnologia de nano e microencapsulação aplicada na proteção, liberação e aplicação de ingredientes alimentares. Os primeiros itens abordarão sobre a importância da nano e micro-encapsulação de ingredientes alimentares, classificações das partículas e considerações das técnicas na encapsulação. Na sequência será apresentado os principais métodos, equipamentos e materiais empregados, análises físicas e químicas das partículas e, finalmente, as perspectivas industriais bem como as aplicações das nano e micro-partículas alimentícias no mercado de alimentos.

Palavras-chaves: Microencapsulação; nanoencapsulação; alimentos; nanotecnologia.

[1]Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, UFVJM, Minas Gerais, Brasil.
[2]Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, Brasil.

*email: joyce.costa@ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

1.1 Visão geral da nano e microencapsulação para alimentos

O termo encapsulamento vem originalmente da ciência da biotecnologia e farmacêutica onde era empregado para proteção de ingredientes sensíveis, medicamentos e entrega de vacinas e, ainda, para tornar os processos de produção mais eficientes. Nos últimos anos, a nano e microencapsulação tem crescido muito rapidamente por serem tecnologias emergentes empregadas nas diversas áreas do conhecimento como a farmacêutica, médica, cosméticos, agroindústria e de alimentos (Jyothi, Seethadevi, Prabha, Muthuprasanna, & Pavitra, 2012; Paramo, Feregrino-Pérez, Guevara, Mendoza, & Esquivel, 2020; Pateiro et al., 2021).

No setor alimentício tais tecnologias se desafiam na busca de ingredientes e produtos seguros e saudáveis, além de desenvolver diversos métodos obtidos por pesquisas e pela indústria de alimentos que visam melhorar a qualidade e entrega dos alimentos (Ferreira & Nunes, 2019; Kumar & Kumar, 2016; Singh et al., 2017; Tolve et al., 2018).

Assim, na ciência e tecnologia de alimentos a nanoencapsulação dispõe de métodos que reduzem partículas em escala nanométrica (Sharma, Dhiman, Rokana, & Panwar, 2017), enquanto na microencapsulação as partículas obtidas apresentam em escala micrométrica. Tanto a nano como a microencapsulação são empregadas com objetivo de aprisionar ou carrear, através de biopolímeros, substâncias que podem se encontrar no estado sólido, líquido ou gasoso (Corrêa-Filho, Lourenço, Moldão-Martins, & Alves, 2019).

O ingrediente ou substância a ser protegido ou carreado é denominado núcleo, agente ativo ou fase interna, e o revestimento é chamado concha, material de parede, transportador ou encapsulante (Madene, Jacquot, Scher, & Desobry, 2006; Pateiro et al., 2021).

Entre as diversas vantagens que microencapsulação apresenta destaca-se a proteção do agente ativo que pode-se degradar ou diminuir a interação com fatores ambientais tais como calor, umidade, ar, luz, entre outros; vaporizar ou reduzir a taxa de transferência de material do agente ativo para o meio externo; modificar as características do agente ativo tornando o manuseio mais fácil; liberar ou carrear progressivamente o agente ativo ao longo do tempo ou em um local específico; encobrir sabores; diluir o agente ativo quando necessário pequenas quantidades, ou separar compostos dentro de uma mistura (Ray, Raychaudhuri, & Chakraborty, 2016; Gouin, 2004).

A nanoencapsulação se destaca na área de alimentos de forma mais abrangente como aumentar a vida de prateleira dos produtos alimentícios; melhorar o design no desenvolvimento de produtos; criar estratégias para o armazenamento dos alimentos; possibilitar o melhor rastreamento de contaminante e de métodos de descontaminação, e permitir a adição de suplementos alimentares e agentes antibacterianos nos alimentos (Ferreira & Nunes, 2019). Além destas vantagens a nanoencapsulação é valorizada por apresentar potencial a melhorar a biodisponibilidade, liberação controlada e direcionar compostos bioativos com maior precisão comparada ao processo de microencapsulação (Bazana, Codevilla, Silva, & Menezes, 2015).

Entre os diversos ingredientes que podem ser encapsulados na indústria de alimentos encontram-se ácidos, óleos essenciais, óleos e gorduras, sais, corantes, edulcorantes, vitaminas e minerais, enzimas e microrganismos (Desai & Park, 2005; Favaro-Trindade, Pinho, & Rocha, 2008). A seleção do processo de nano e microencapsulação é baseada nas propriedades químicas e físicas dos materiais da parede e do núcleo e no uso pretendido dos ingredientes alimentares (Chopde, Datir, Deshmukh, Dhotre, & Patil, 2020).

No início deste capítulo será abordado sobre a importância da nano e microencapsulação de ingredientes alimentares, classificações de partículas e considerações das técnicas na encapsulação, enquanto a parte posterior se concentrará aos métodos, equipamentos e materiais empregados, análises físicas e químicas das partículas e, finalmente, as perspectivas industriais e aplicações de partículas alimentícias no mercado de alimentos.

1.2 Nano ou microencapsulação como uma fonte rica de entrega de componentes bioativos

Os bioativos são substâncias químicas naturais extra nutricionais tais como lipídios, vitaminas, peptídeos, ácidos graxos, antioxidantes, minerais e probióticos e estão presentes em ervas, vegetais e frutas e são capazes de modular processos metabólicos promovendo benefícios à saúde (Le, Chiu, & Hsieh, 2020; Vos, Faas, Spasojevic, & Sikkema, 2010). O interesse por essas substâncias tem crescido entre pesquisadores e

também pela população, haja visto o maior consumo de alimentos funcionais que são ricos em compostos bioativos, e em decorrência dos benefícios intrínsecos ao seu consumo que incluem o fornecimento de nutrientes e promoção da saúde (Dordevic et al., 2015; Oliveira, Sivieri, Alegro, & Saad, 2002).

A micro e nanoencapsulação são potenciais alternativas empregadas que, além da função de proteção de compostos contra o estresse ambiental e a degradação química, aumenta a estabilidade e viabiliza a biodisponibilidade do composto no local desejado (Holkem, Codevilla, & Menezes, 2015). O ingrediente produzido pode ser usado para enriquecer alimentos com antioxidantes naturais e propriedades funcionais (Etchepare, Menezes, Rodrigues, Codevilla, & Menezes, 2015). Pateiro et al. (2021) relatam que ao reduzir o tamanho destes compostos vários benefícios podem ser realçados como a estabilidade, biodisponibilidade, solubilidade e entrega, melhorando a atividade funcional, bem como o controle da liberação destes compostos e melhora das características do produto.

Nos últimos tempos, vários esforços são feitos para desenvolver carreadores de compostos bioativos, especialmente à base de lipídios para a indústria de alimentos (Katouzian, Esfanjani, Jafari, & Akhavan, 2017; McClements, 2012; Amiri-Rigi & Abbasi, 2019). Assim, a entrega de componentes bioativos à base de lipídios tem como vantagens usar ingredientes biocompatíveis em escala industrial, propriedades físico-químicas ajustáveis e a capacidade de aprisionamento de diferentes compostos. Além disso, os lipídios digestíveis usados contribuem para a absorção dos compostos de interesse no intestino (Li et al., 2017; Patra et al., 2018).

Exemplo de viabilização e entrega de compostos bioativos pode ser visto através da curcumina que apresenta baixa biodisponibilidade além de baixa estabilidade em ambiente alcalino; portanto, para tratar de tais questões, tal componente foi carreado em lipossomas e nanoemulsões (Zamani-Ghaleshahi & Rajabzadeh, 2019).

Nas seções 3.2.1 e 3.2.2 deste capítulo, os diferentes mecanismos de microencapsulação de ingredientes alimentares (lipossomas e nanoemulsões) são amplamente descritos.

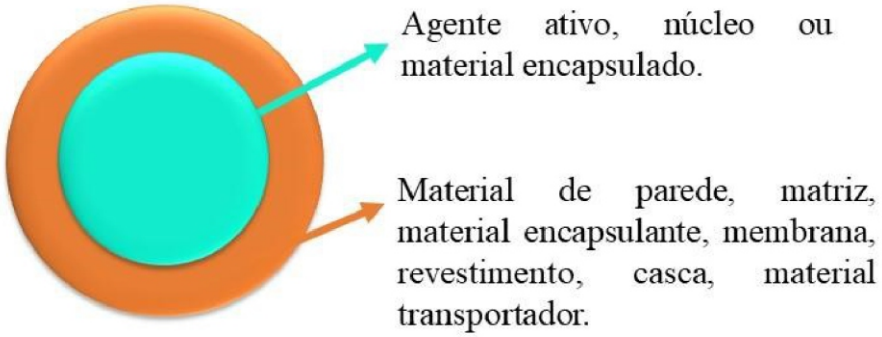
1.3 Classificação das partículas

A classificação das partículas pode apresentar características de tamanho e morfologia diferentes de acordo com o material a ser encapsulado, material de revestimento e método/equipamento empregado no processo de encapsulação.

As partículas encapsuladas podem ser caracterizadas como micro ou nanopartícula, micro ou nanoesfera e micro ou nanocápsula, sendo que todas as formas podem ser classificadas em relação ao tamanho e morfologia.

A estrutura básica de uma micropartícula pode ser observada na Figura 1. O material a ser encapsulado pode ser referido como a fase interna, material de núcleo, enchimento, fase de carga útil ou agente ativo, enquanto o material de encapsulamento pode ser referido como membrana, material transportador, revestimento, casca, matriz, fase externa ou material de parede (Zuidam & Shimoni, 2010; Dhakal & He, 2020). A microcápsula implica a estrutura da parede central e pode ser categorizada como reservatório e sistemas matriciais (Augustin e Hemar, 2009).

Figura 1. Estrutura básica de uma micropartícula.



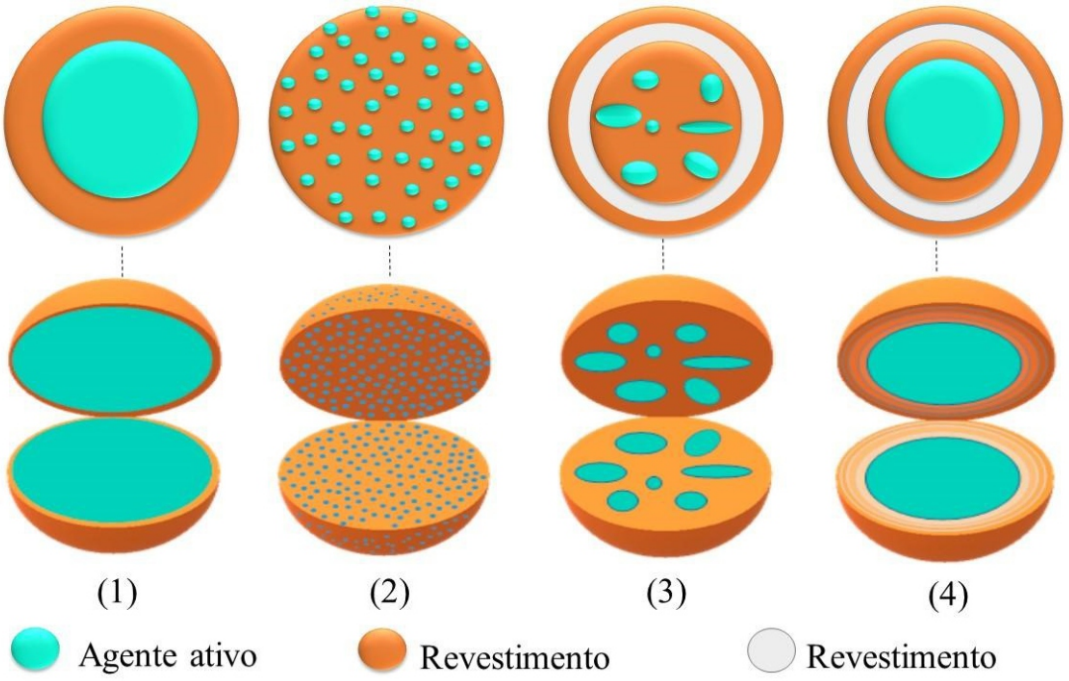
Fonte: Adaptado de Zuidam & Shimoni (2010).

O tamanho das micropartículas pode ser classificado em macrocápsulas (> 1000 μm), microcápsulas (3 a 800 μm) e nanocápsulas (< 1 μm) (Costa et al., 2015).

A morfologia pode ser compreendida por dois grupos: microcápsula e microesfera. A microcápsula pode ser visualizada com a localização do agente ativo na região central da cápsula. Na microesfera, por sua vez, parte do agente ativo pode ficar exposto na superfície. Outras situações que podem ocorrer é a presença de mais de um agente ativo, os chamados polinuclear ou multinuclear, ou ainda a presença de várias paredes para um mesmo agente ativo (Figura 2) (Nesterenko, Alric, Violleau, Silvestre, & Durrieu, 2013; Nunes et al., 2015).

Na nanoencapsulação a redução das partículas alcança tamanhos que variam entre 1 e 100 nm. Entretanto, aquele intervalo pode se estender até cerca de 1000 nm (Mcclements, 2020). Em relação a morfologia pode se dividir em nanocápsulas ou nanoesferas (Figura 3). A nanocápsula consiste em um sistema vesicular em que o composto bioativo pode estar no núcleo envolvido por uma membrana, enquanto a nanoesfera é formada por um sistema do tipo matricial ao qual o ativo pode se encontrar uniformemente disperso (Bazana et al., 2015).

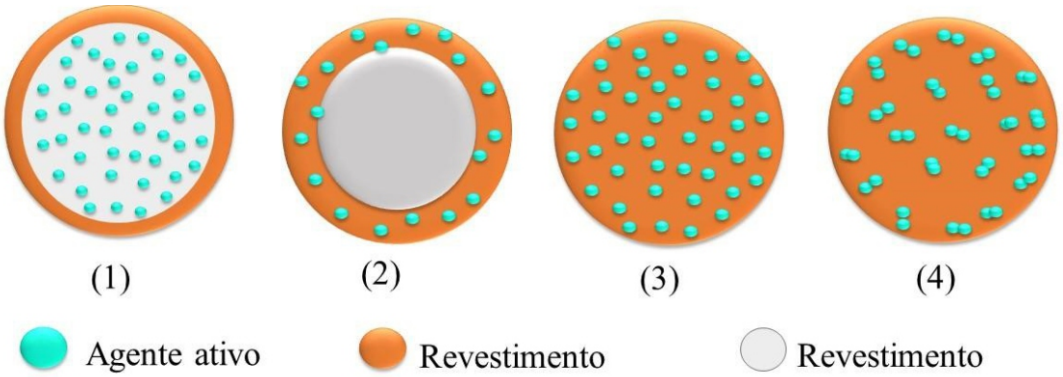
Figura 2. Morfologia das micropartículas



Fonte: Adaptado de Bakry et al (2015).

Nota: (1) Microcápsula mononuclear simples, sistema reservatório; (2) Microesfera, sistema matricial; (3) Microesfera, matricial polinuclear multiparedes; (4) Microcápsula multiparede ou polinuclear.

Figura 3. Morfologia das nanopartículas



Fonte: Adaptado de Figueiredo et al., 2022.

Nota: (1) nanocápsula, bioativo dissolvido no núcleo; (2) nanocápsula, bioativo adsorvido à parede polimérica; (3) nanoesfera (sistema matricial), bioativo retido na matriz polimérica; (4) nanoesfera (sistema matricial), bioativo adsorvido ou disperso molecularmente à matriz polimérica.

As técnicas de avaliação da estrutura de micropartículas incluem microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (MET), microscopia óptica de fluorescência (MOF), microscopia óptica (MO) e microscopia confocal (MC) (Jafari, Assadpoor, Bhandari, & He, 2008; Casanova, Estevinho, & Santos, 2016), as quais serão mais bem descritas no item 4.1 deste capítulo.

1.4 Materiais usados para encapsulamento

A encapsulação tem como requisito importante a seleção do material de parede pelo fato deste impactar de forma direta na eficiência e estabilidade das partículas resultados do processo (Silva et al., 2014). Para aplicação viável nos alimentos os materiais precisam apresentar grau alimentar, serem biodegradáveis e, especialmente, capazes de formar barreira para proteção (Zhang, Le, Liu, & Zhang, 2015). Além disso, os materiais usados para encapsulamento deve apresentar algumas características importantes como boas propriedades reológicas em alta concentração, facilidade de manuseio, capacidade para dispersar ou emulsionar o agente ativo e estabilizar a emulsão produzida, não reagir quimicamente com os materiais do agente ativo durante o processo de encapsulação, selar e segurar o agente ativo em sua estrutura durante o processamento e armazenamento, liberar completamente o solvente ou outros materiais usados durante a encapsulação, promover a máxima proteção do agente ativo contra condições ambientais adversas como oxigênio, calor, luz e umidade e usar solventes com solubilidade aceitável na indústria de alimentos (Ray et al., 2016).

Alguns dos principais materiais de parede que são empregados na nano e microencapsulação de ingredientes alimentícios estão apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. A escolha destes materiais varia de acordo com a finalidade pretendida, proporcionando uma ampla aplicação na área de alimentos na qual podem ser utilizados sozinhos ou combinados (Fernandes, Candido, & Oliveira, 2012; Oliveira & Petrovick, 2010).

Tabela 1. Exemplos de materiais empregados no processo de nanoencapsulação.

Categoria	Material
Lipídios sólidos	Ácido esteárico, Cera de abelha, Compritol, Biogapress Vegetal, Precirol ATO 5
Lipídios líquidos	Óleos vegetais diversos, Labrafac lipophilewl1349
Gomas	Goma acácia (arábica), alginato de sódio, carragena
Tensoativos	Tween 80, Carpyrol TM 90, Poloxamer 407

Fonte: Gattefossê (2021) e CPh|online (2021).

Os lipídios estão entre os compostos com interesse de encapsulação, sendo que o emprego de lipídios sólidos quando comparado aos lipídios líquidos aumenta o controle sobre a cinética de liberação de compostos encapsulados e melhora a estabilidade de ingredientes lipofílicos sensíveis quimicamente (Helgason, Awad, Kristbergsson, Mcclements, & Weiss, 2009).

Os lipídios mais utilizados na obtenção das nanopartículas são triglicerídeos (triestearina), glicídios parciais (monoestearato de glicerila, ácidos graxos (ácido esteárico), esteróis (colesterol) e ceras (cetilpalmitato) (Assis, Zavareze, Prentice-Hernández, & Souza-Soares, 2012).

A cera de abelha é constituída por ácidos graxos e devido sua elevada hidrofobicidade e excelente resistência à umidade tem aplicação no desenvolvimento de nanossistemas (Souza, Freitas, & Campos, 2017).

Adicional aos materiais empregados no processo de nanoencapsulação, as partículas são, por vezes, estabilizadas por surfactantes que podem ser compostas de uma única camada, mas normalmente há uma mistura de surfactantes (Weiss & Decker, 2008). O Tween 80, também conhecido por polisorbato 80, é um surfactante hidrofílico não iônico, comumente aplicado para produzir emulsões do tipo óleo em água, que pode ser usado em alimentos por ser considerado seguro, não irritante e apresentar baixa toxicidade (Madhi et al., 2011).

Tabela 2. Exemplos de materiais de parede empregados no processo de microencapsulação.

Categoria	Material
Carboidratos	Amidos, maltodextrina, amido modificado, quitosana, dextrina, ciclodextrina, pectina
Celulose	Carboximetilcelulose, metilcelulose, etilcelulose
Goma	Goma arábica, agar, goma xantana, alginatos, carragena
Lipídios	Cera, óleos gorduras, parafina, diacilglicerol, óleos vegetais, hidrogenados, lecitina
Proteínas	Gelatina, albumina, caseína, peptídeos, proteína do soro do leite, proteínas de soja, zeína

Fonte: Desai e Park (2005).

Os amidos e seus derivados (maltodextrina, β-ciclodextrinas e amido modificado) devido às propriedades desejáveis que apresentam como baixa viscosidade, alto teor de sólidos e boa solubilidade, são amplamente usados na indústria de alimentos com a finalidade de reter e proteger compostos voláteis (Madene et al., 2006). Além disso, o amido apresenta ainda um custo relativamente baixo e ampla disponibilidade mundial (Corre & Angellier-Coussy, 2014). O amido modificado é bastante utilizado devido seu poder emulsificante (Costa et al., 2015), porém possui gosto indesejável e não confere boa proteção contra oxidação de aromas (Krishnan, Bhosale, & Singhal, 2005).

A maltodextrina é bastante empregada nos processos de encapsulação devido ao baixo custo, eficácia, sabor suave, baixa viscosidade com alta proporção de sólidos, disponibilidade de moléculas com diferentes pesos médios (Madene et al., 2006), e boa solubilidade (Mazumder & Ranganathan, 2020). Como limitação desse encapsulante estão a baixa capacidade emulsificante e de retenção de compostos voláteis, fato geralmente corrigido por sua aplicação em conjunto com outro material (Costa et al., 2015).

A goma arábica é amplamente utilizada na indústria de alimentos pelo motivo de ser inodora, insípida e atóxica (Subtil et al., 2014). Na área de encapsulação é um dos materiais de parede mais usado, em especial na secagem por atomização de óleos e aromas, por evitar a perda de compostos voláteis (Tonon, Grosso & Hubinger, 2011). Entre as vantagens deste material estão também sua alta solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa. No entanto, algumas limitações como o alto custo, oferta limitada e variações na qualidade da goma têm dificultado seu uso como ingrediente alimentício (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007).

O alginato de sódio é um polissacarídeo com excelentes propriedades geleificante, espessante e estabilizante, além disso apresenta capacidade de absorção de água, fácil manipulação, inocuidade e agente de microencapsulação (Muller, Santos, & Brigido, 2011; Pasin, Azón, & Garriga, 2012).

A celulose, com destaque na encapsulação para carboximetilcelulose e metilcelulose (Desai & Park, 2005), apresenta baixo custo, baixa densidade, alta resistência, é renovável, biodegradável, atóxica e disponível em uma variedade de formas. Como desvantagens é um material de caráter hidrofílico, o que limita sua adesão e dispersão, e estabilidade térmica (Dufresne, 2017).

A goma xantana tem seu uso favorecido na área de alimentos por possuir solubilidade em água fria, resistência à degradação enzimática, propriedade reológicas, viscosidade confiável em baixas concentrações e alta estabilidade numa faixa ampla de temperatura e pH. Como limitação apresenta um custo relativamente caro (Soleymanpour, Nikzad, Talebnia & Niknezhad, 2018; Sworn, 2000).

A gelatina traz como vantagens para seu uso na indústria de alimentos e assim na encapsulação de ingredientes alimentícios o fato de ser biodegradável, biocompatível, ter adesão celular, produzir géis de ótima qualidade, ser um agente emulsificante eficaz e ter capacidade de flocular partículas suspensas (Guizzardi et al., 2019; Ledward, 2000).

As proteínas do soro se enquadram como ingrediente funcional e uma fonte nutricional versátil (Barreto, Ramírez-Mérida, Etchepare, Jacob-Lopes, & Menezes, 2015). Na forma comercial se destaca o concentrado e isolado proteico (Alves et al., 2014), e apresentam excelentes propriedades funcionais, emulsificante, geleificante e capacidade de formação

de filme (Rajam, Kumar, Prabhasankar & Anandharamakrishnan, 2015), além de promover barreira contra a oxidação (Madene et al., 2006).

A inulina é um polissacarídeo biodegradável, renovável e atóxico (Usman et al., 2021). Apresenta alta solubilidade em água quente, aroma neutro e boa capacidade gelificante de absorção de água, espessante e emulsificante (Michalska, Wojdylo, Brzezowska, Majerska, & Ciska, 2019; Shoaib et al., 2016).

1.5 Regulamento atual de materiais de parede usados no encapsulamento

Os materiais de parede usados na encapsulação de ingredientes alimentícios são regulamentados como aditivo ou ingrediente alimentar uma vez que não existe um regulamento próprio. Com exceção da gelatina, os materiais usados no processo de encapsulamento se enquadram como aditivo alimentar (William & Phillips, 2000), sendo regulamentados no âmbito mundial pela *Food and Agriculture Organization* (FAO) e *World Health Organization* (WHO) (Polônio & Peres, 2009), e, no Brasil, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

De acordo com a Resolução nº 540 (Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância Sanitária de 27 de outubro de 1997), aditivos são definidos como qualquer ingrediente adicionado de forma intencional aos alimentos, sem o propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenamento, transporte ou manipulação de um alimento. A adição de tais aditivos e derivados podem se converter em um componente do alimento, excluindo da definição, contaminantes e substâncias adicionadas com finalidade nutricional. Para melhor compreensão, o ingrediente é qualquer substância a qual inclui os aditivos alimentares, empregados no preparo de um alimento e que permanece no produto, mesmo que de forma modificada.

1.6 Bioatividade, toxicidade e regulação

Para a indústria de alimentos é interessante que os produtos desenvolvidos tenham propriedades que melhorem suas funcionalidades e aumente a bioatividade de algumas substâncias pelo fato de serem, na sua maioria, antioxidantes, ou seja, atuam inibindo ou diminuindo os efeitos dos radicais livres. A bioatividade pode ser obtida através da ingestão de alimentos, como fontes de vitamina C, E, carotenoide e compostos fenólicos que pertencem ao grupo dos polifenóis (Santos et al., 2010; Tsao, 2010). Os polifenóis são

produtos do metabolismo secundário das plantas, com existência de mais de 8.000 estruturas conhecidas, sendo dividido em várias classes como pode ser visualizado na Figura 4 (Melo, Maciel, Lima & Nascimento, 2008; Tsao, 2010).

Figura 4. Classificação dos polifenóis.



Em termos de toxicidade, a encapsulação de ingredientes alimentícios trabalha com materiais de caráter biodegradável, geralmente enquadrados como não tóxicos ou de baixa toxicidade (Barreto et al., 2015; Chen et al., 2015; Desai & Park, 2005; Dias, ferrreira, & Barreiro, 2015; Estevinho, Damas, Martins, & Rocha, 2014).

A regulamentação da nanoencapsulação ainda apresenta vários questionamentos acerca da toxicidade. No entanto sabe-se que a toxicidade pode estar vinculada a fatores diversos tais como número de partículas e concentração de massa, área da superfície, carga química e reatividade, tamanho, estado de agregação, composição do elemento, estrutura e forma (Tiede et al., 2008).

A microencapsulação ainda não apresenta um regulamento próprio. Portanto, tal ciência vincula-se a regulamentos dos materiais de parede e agentes ativos pela FAO, WHO (Polônio & Peres, 2009) e, no Brasil, pela Anvisa. Por outro lado, a Portaria 1.358 (ANVISA, 2014) instituiu o Comitê Interno de Nanotecnologia no âmbito da Anvisa. Assim, a nanotecnologia no Brasil é regulamentada com a finalidade de coordenar ações institucionais na área de nano, julgadas prioritárias pela diretoria colegiada. Além disso, o *Food & Drug Administration* (FDA) apresenta vários documentos relacionados à aplicação de nanotecnologia em produtos regulamentados pelo FDA, em destaque um guia para indústria de 2014 (FDA, 2014).

2. MÉTODOS DE PREPARAÇÃO PARA O SISTEMA DE ENCAPSULAMENTO

2.1 Emulsificação

A emulsificação é um método que pode ser empregado tanto na etapa preliminar para preparação das amostras a serem encapsuladas, quanto para o próprio processo de encapsulação. Trata-se de um método eficaz, rápido, de procedimento simples, baixo custo e que é capaz de encapsular compostos hidrofílicos e hidrofóbicos (Costa, Laurindo, Coimbra, Mageste, & Santos, 2017).

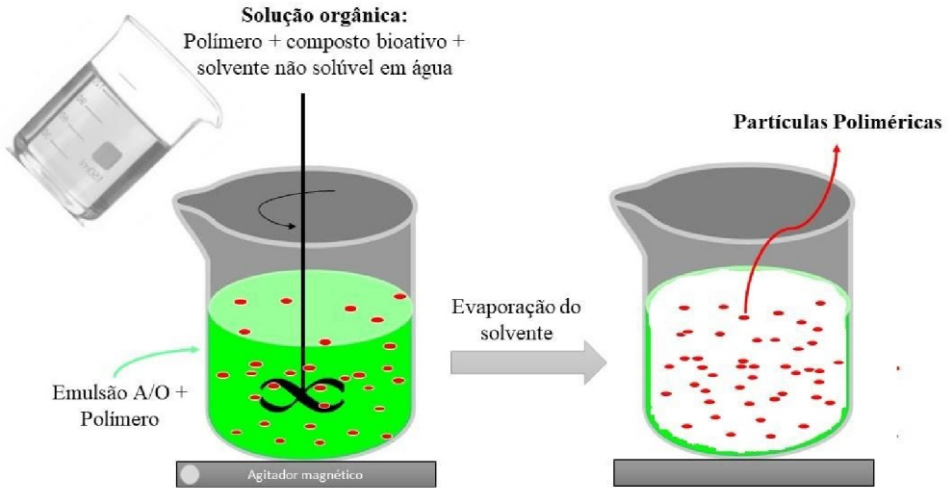
Kaminski et al. (2020) destaca que as principais vantagens desta técnica é a facilidade de empregá-la em grande escala de produção e a alta eficiência de encapsulação, além de formar cápsulas menores em relação a técnica de extrusão. Entretanto, Bakry et al (2015) destacam entre as desvantagens apresentadas por este método a instabilidade física na exposição ao calor, frio, secagem, pH extremo, além de limitar a liberação controlada.

O método envolve a preparação de uma emulsão do tipo óleo/água (O/A), cuja fase interna é constituída por um solvente orgânico parcialmente hidromiscível como, por exemplo, álcool benzílico, propilenocarbonato ou acetato de etilo, que é previamente saturado com água, de modo a assegurar um equilíbrio termodinâmico inicial de ambas as fases. Assim, as emulsões compõem um sistema heterogêneo na composição de líquidos miscíveis com uma fase contínua (óleo) e outra fase dispersa (material encapsulante), onde há a formação de uma mistura sob agitação formando a emulsão água em óleo (Rosário et al., 2021).

Para que haja estabilidade termodinâmica do sistema é necessário a presença dos surfactantes ou emulsificantes. Cavalheiro, Etchepare, Menezes, Menezes & Fries, (2015) destacam que o alginato é um dos materiais amplamente empregados como encapsulante para a técnica de emulsificação.

Os métodos de emulsificação podem ser classificados em emulsificação por evaporação, ou difusão do solvente (Oliveira, Monteiro, Menezes, Feitas, & Tavares, 2019). A Figura 5 apresenta o processo de emulsificação-evaporação do solvente onde, após o processo de evaporação, ocorre a precipitação do polímero para obtenção das nanopartículas (Li, Li, Li, Zhu, & Wang, 2017; Suganya & Anuradha, 2017).

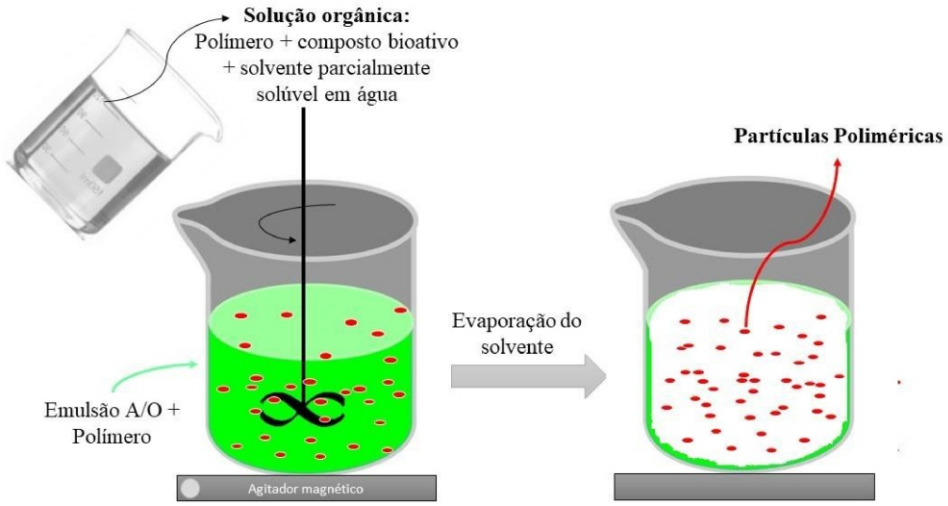
Figura 5. Emulsificação por evaporação do solvente.



Fonte: Paswan & Saini (2017). Adapatado.

A Figura 6 apresenta o processo de emulsificação-difusão utilizando-se um solvente que, parcialmente pode se misturar em água, pois quando adiciona-se a água no sistema ocorre a desestabilização do equilíbrio termodinâmico, que resulta na difusão do solvente para fase aquosa e, consequentemente, à formação de nanopartículas (Davis, Martinez, Howarter, & Erk, 2020).

Figura 6. Emulsificação por difusão do solvente.



Fonte: Pineda-Reyes et al (2021). Adaptado.

Exemplos de aplicação de ambos os métodos de emulsificação são descritos por Rodrigues et al. (2018), Hagemann et al. (2020) e Sá et al. (2018).

2.2 Gelificação iônica

A gelificação iônica é um método físico e químico que pode ser empregado tanto no preparo da encapsulação ou, unicamente, para encapsulação de compostos. O processo aplica polissacarídeos aniônicos para formação de gel na presença de íons (Pasqualim et al., 2020), é considerado simples comparado aos outros métodos de encapsulação, e permite encapsular compostos hidrofílicos e/ou hidrofóbicos, independe de solventes orgânicos, temperatura e pH extremos, sendo sobretudo, considerada como um método de baixo custo (Castelo, Silva, & Furtado, 2020).

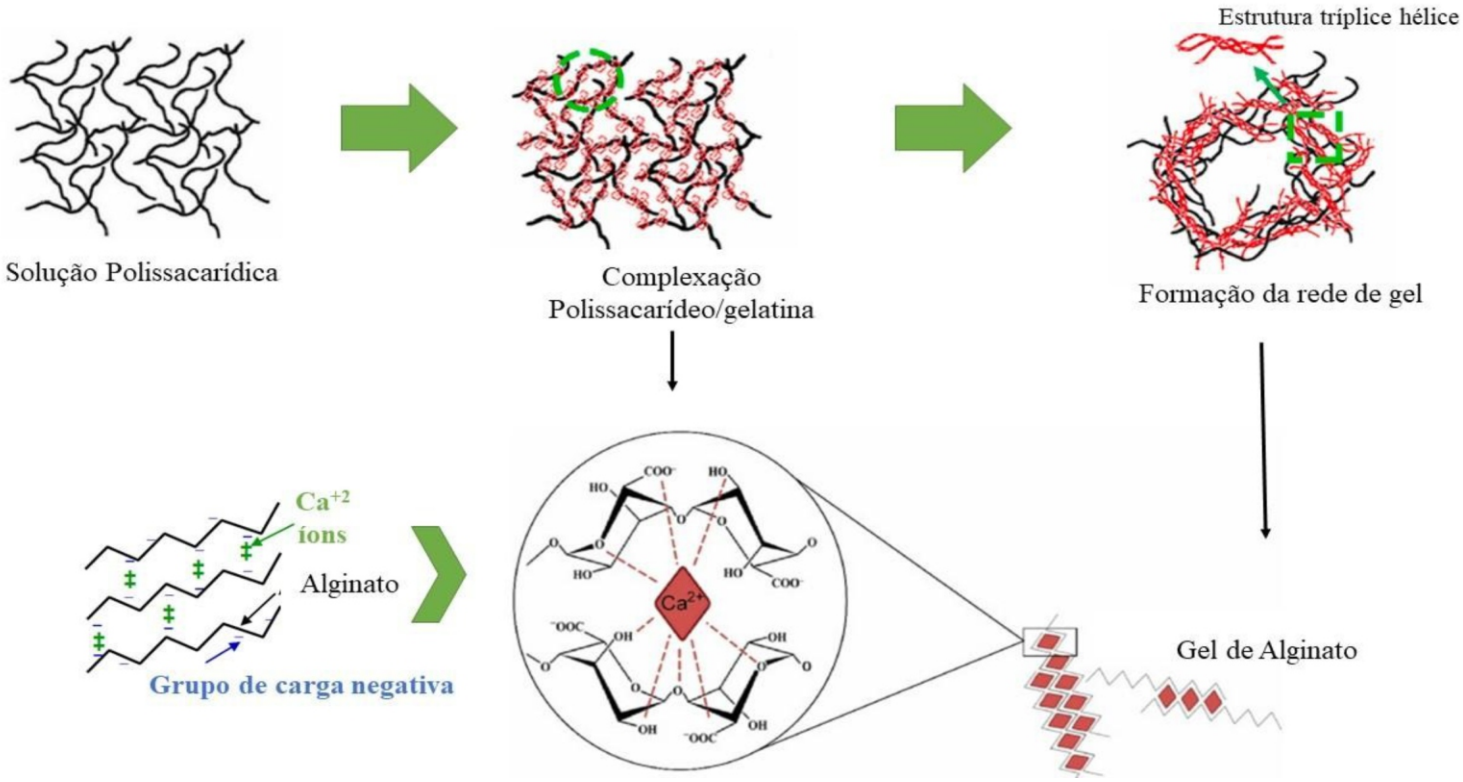
Devido às diversas vantagens a citar emprego em condições brandas de temperatura que podem afetar a integridade da maioria dos compostos bioativos, trata-se de um dos métodos mais relatados na literatura para a encapsulação de compostos bioativos alimentícios, como investigado por alguns autores como Santos et al. (2021) e Galindo, Paglione, Coelho, Leimann, & Shirai, (2020), aos quais empregaram a gelificação iônica para obtenção de partículas de quitosana e cúrcuma, respectivamente.

No que se refere a morfologia, a gelificação iônica produz partículas classificadas como microesfera (veja Figura 1, item 1.2 deste capítulo). O processo físico-químico do método baseia-se na emulsão da solução em fase oleosa, a qual contém um agente surfactante, em seguida é adicionado um meio ácido para reduzir o pH e promover a liberação dos íons de cálcio, sendo que a incorporação do material é gotejada por meio de uma seringa ou pipeta de calibre reduzido (Castelo, Silva, & Furtado, 2020). Assim, observa-se que alguns polímeros naturais são polieletrólitos aos quais apresentam a forma iônica em solução, como pode ser exemplificado pela quitosana e o alginato, e amplamente empregados para encapsulação por gelificação.

O procedimento de gelificação pode ser dividido em gelificação externa e interna, nas quais a produção de partículas ocorre com a adição de cálcio e sais diretamente em uma solução polimérica. A gelificação interna ocorre com a diminuição do pH da emulsão para liberação de íons (Andrade, Nascimento, Carvalho, Santos, & Pagani, 2020). Na gelificação externa, as partículas são obtidas por meio da adição de uma solução de biopolímeros, a qual é gotejada em uma solução iônica, e o endurecimento das partículas acontece através da interação dos íons que promovem a formação de géis (Cutrim, Alvim, & Cortez, 2019). Segundo Liu et al., (2020), dentre os vários polímeros que podem ser utilizados como agentes reticulantes, o alginato é considerado um dos mais empregados como agente de encapsulação, devido a sua capacidade de formar géis com pontes intercadeias formando-se um hidrogel.

Durante o processo de gelificação (ilustradas na Figura 7), ocorre a alteração estrutural para a formação das redes tridimensionais através das ligações formadas pela seguinte reação química: $Na(Alginato) + CaCl_2 \rightarrow 2NaCl + Ca(Alginato)$.

Figura 7. Formação da rede de alginato de cálcio na gelificação iônica.



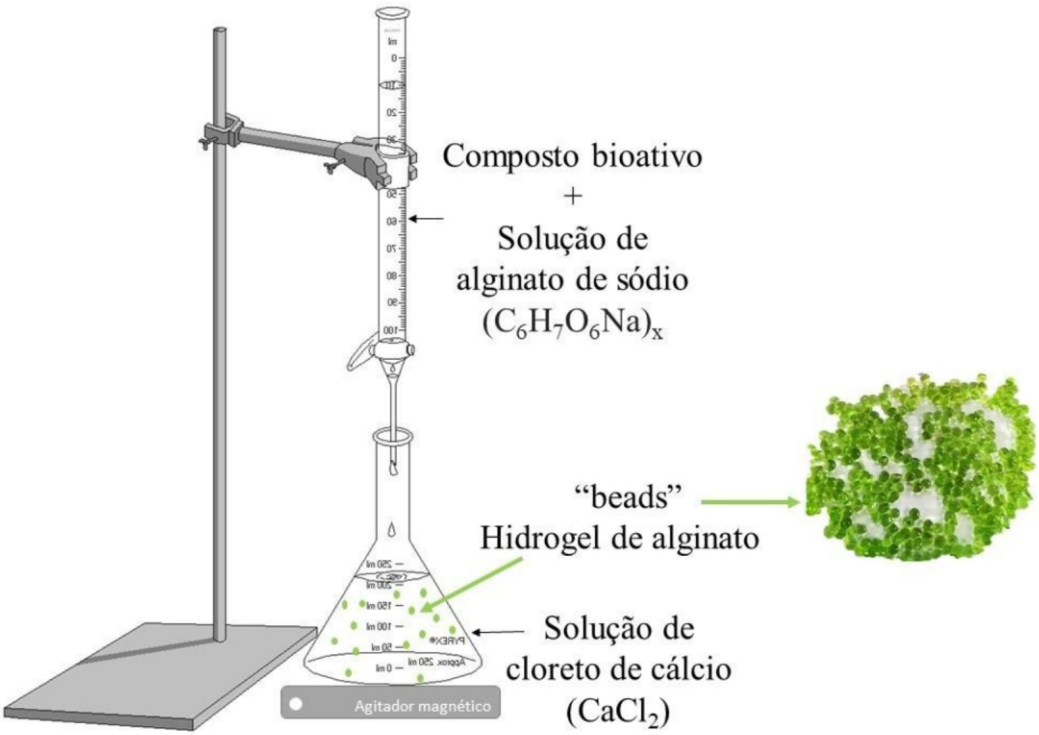
Fonte: Alkhatib et al., (2022). Adaptado.

Ressalta-se que este método é empregado no preparo de sistemas de encapsulamento e as partículas produzidas através da gelificação iônica podem ser finalizadas ou estabilizadas com outros métodos, tais como a extrusão e a atomização. No processo de extrusão, a solução iônica é gotejada através do auxílio de uma agulha. Por atomização, o processo de encapsulamento ocorre com a mistura do ar comprimido na solução a ser encapsulada (Fernando, Lee, Han, & Ahn, 2020). Nas seções 3.1.2 e 3.2.8 deste capítulo estão descritos os métodos de atomização e extrusão.

As principais variáveis que influenciam o tamanho das partículas na técnica de extrusão são a concentração das soluções de polímero e reticulante, a taxa de fluxo da solução gotejante, a distância do bico e da solução gelificante e o tamanho do bico (Ramos et al., 2018).

A Figura 8 apresenta, como exemplo, a titulação com alginato de sódio e o cloreto de cálcio.

Figura 8. Titulação com alginato de sódio e cloreto de cálcio.



Fonte: Etchepare et al (2015). Adaptado.

3. MICROENCAPSULAÇÃO DE INGREDIENTES ALIMENTARES

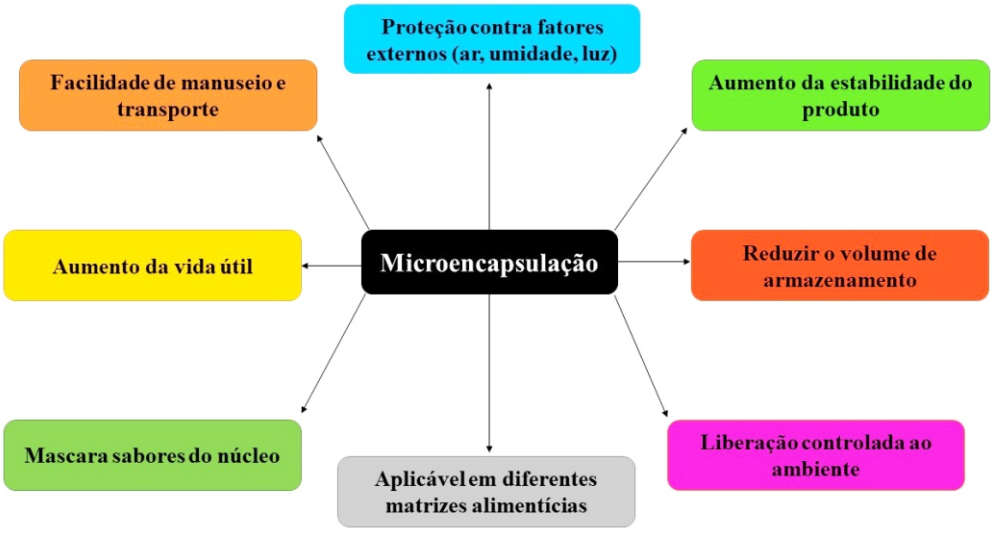
O microencapsulamento, também conhecido como microencapsulação, é uma técnica que envolve o conhecimento multidisciplinar nas áreas de física, físico-química, química de polímeros, química de colóides, bioquímica, biotecnologia e ciência dos materiais. A tecnologia facilita o manuseio conveniente de materiais, permitindo a conversão de um material alimentar líquido em um pó sólido ou de fluxo livre ou vice-versa (Sobel, Versic, & Gaonkar, 2014; Huang, Yu, & Ru, 2010).

A microencapsulação, pode ser definida também como uma tecnologia de inclusão de ingredientes sensíveis (sólidos, líquidos ou gasosos) em filmes finos de agentes microencapsulantes de qualidade alimentar (polímeros ou lipídios), formando microcápsulas, microesferas ou micropartículas de tamanhos na ordem de micrômetros a milímetros (1 a 1000 μm) (Malmo, La Storia, & Mauriello, 2013; Arslan-Tontul & Erbas, 2017).

Esta técnica vem sendo aplicada com diversos objetivos, como: redução da reatividade do material encapsulado; proteção do material encapsulado contra evaporação ou perda para outro meio; na facilitação do manuseio, aplicação e armazenamento do material encapsulado; promoção da liberação controlada; e mascarar sabores e aromas desagradáveis (Favaro-Trindade, Pinho, & Rocha, 2008; Comunian, & Favaro-Trindade, 2016). Além disso, acaba por aumentar a estabilidade dos materiais de preenchimento ao limitar sua interação com o meio externo e outros constituintes do alimento, protegendo da luz, calor, umidade e oxidação, permitindo estabilidade e biodisponibilidade, mantendo suas propriedades funcionais e aumentando a facilidade de manuseio (Fang & Bhandari, 2010; Castro-Rosas et al., 2017).

A microencapsulação também minimiza os efeitos de altas temperaturas, promove redução da atividade da água (o que reduz o crescimento microbiano e os custos de armazenamento e transporte), controla a liberação de compostos para locais específicos e confere propriedades organolépticas (Fang e Bhandari, 2010, Castro-Rosas et al., 2017). Além disso, contribui na estabilidade de produtos alimentícios ao permitir uso de compostos em diversas matrizes alimentares nos quais seriam incompatíveis devido às condições de pH, solubilidade, dentre outros (Jafari, 2017; Rodriguez-Amaya, 2016; Xiao. Liu, Zhu). A Figura 9 ilustra alguns dos benefícios gerados pelo processo de microencapsulação.

Figura 9. Encapsulação de compostos alimentares e seus benefícios.



Fonte: Mudalip, Khatiman, Hashim, Man, & Arshad (2021). Adaptado.

Na indústria de alimentos, a microencapsulação envolve a incorporação de ingredientes naturais. Estes podem ser antioxidantes, aditivos voláteis, óleos essenciais, ácidos graxos, sabores, aromas, corantes naturais, vitaminas, enzimas e microrganismos probióticos.

Quando estruturados em pequenas cápsulas, promovem a proteção e preservação dos nutrientes e da eventual ação atribuída (ação probiótica, antimicrobiana, dentre outros) (Rodriguez-Amaya, 2016).

O estudo e a aplicação da microencapsulação tiveram início na década de 1930, desde então, foi amplamente utilizado em muitas aplicações industriais, incluindo produtos farmacêuticos, cosméticos e têxteis, sendo a sua aplicação na indústria de alimentos reconhecida há relativamente pouco tempo (Fanger, 1974; Dhakal & He, 2020).

O processo de microencapsulação é considerado um processo de custo variável, portanto, é necessário o estabelecimento do requisito de sua aplicação (Poncelet, 2006; Dhakal & He, 2020). Dentre as vantagens atribuídas ao processo de microencapsulação, cita-se a liberação controlada, já que ela melhora a eficácia e diminui a necessidade de doses maiores de aditivos na indústria de alimentos (Azeredo, 2005; Estevinho, Rocha, Santos, & Alves, 2013; Aguiar, Casanova, Estevinho, & Santos, 2016). A microencapsulação fornece concentração adequada e uma dispersão consistente do material do núcleo. Essas funcionalidades têm sido amplamente exploradas na distribuição de medicamentos e vacinas nos setores farmacêuticos e estão cada vez mais sendo utilizadas para agregar valor a novos produtos alimentícios (Li, González, & Diosady, 2014; Dhakal & He, 2020). O desenvolvimento de sistemas de entrega (materiais de "parede") que transportam, protegem e entregam ingredientes alimentares funcionais (materiais de "núcleo") ao seu local específico de ação é um dos principais desafios atuais da engenharia de alimentos (Beirão da Costa et al., 2012; Castro-Rosas et al., 2017; Mehran, Masoum & Memarzadeh, 2020).

Shahidi e Han (1993), Castro-Rosas et al. (2017), Dhakal & He (2020) e Mudalip et al. (2021) propuseram seis razões para a aplicação da microencapsulação na indústria de alimentos, sendo elas: reduzir a reatividade do núcleo com fatores ambientais; diminuir a taxa de transferência do material do núcleo para o ambiente externo; facilitar o manuseio; controlar a liberação do material do núcleo; mascarar o sabor do núcleo; e diluir o material do núcleo quando ele deve ser usado apenas em pequenas quantidades.

Um exemplo é a proteção de ácidos graxos poliinsaturados e vitaminas da oxidação e proteção de probióticos no trânsito gástrico (Poncelet, 2006). Utilizando a microencapsulação como proteção de condições ambientais adversas, prolonga-se a vida útil e garante-se a entrega do material encapsulado ao local de destino no momento desejado (Augustin e Hemar, 2009, Sobel et al., 2014; Dhakal & He, 2020).

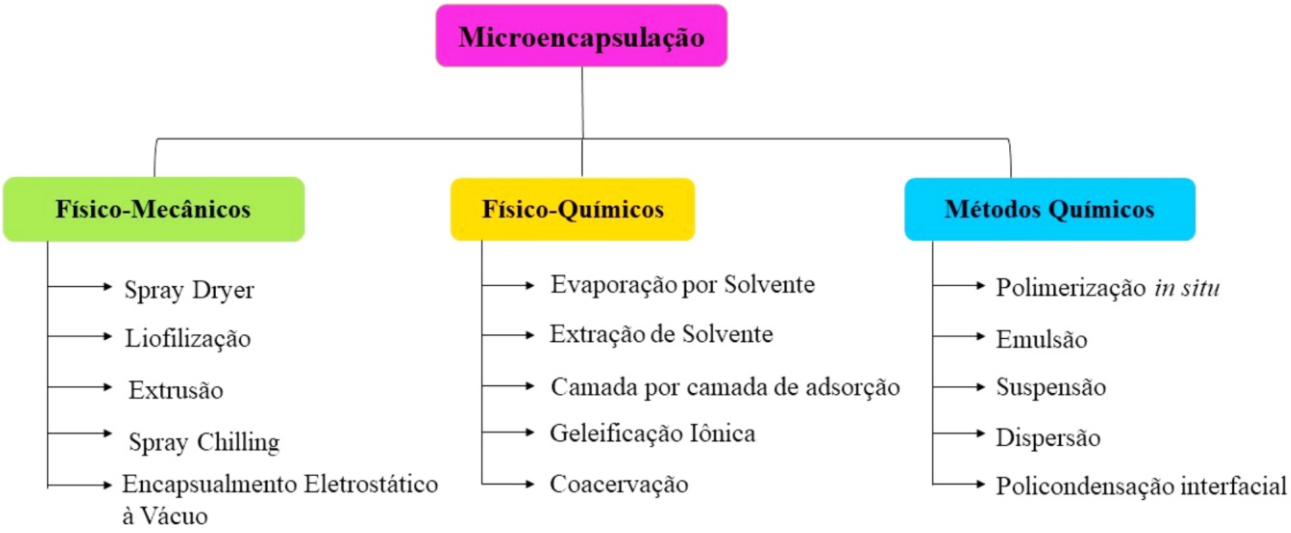
3.1 Técnicas de microencapsulação

As diversas técnicas aplicadas no processo de microencapsulação de alimentos são classificadas em dois grupos principais como pode ser observado pela Figura 10 (Tyagi, Kaushik, Tyagi, & Akiyama, 2011; Ozkan, Franco, De Marco, Xiao, & Capanoglu, 2019):

(i) Métodos físicos, como secagem por spray, liofilização, precipitação de fluido supercrítico e evaporação de solvente;

(ii) Métodos químicos, como polimerização interfacial e complexação de inclusão molecular.

Figura 10. Técnicas de microencapsulação.



Fonte: Hashim, Mudalip, Sulaiman, & Shaarani (2021).

A maioria das tecnologias envolvidas no processo de microencapsulação envolve a produção de gotículas dos materiais do núcleo ativo (na forma de gás, líquido ou pó) e, subsequentemente, envolvendo as gotículas encapsulando materiais em uma fase gasosa (secagem por pulverização ou resfriamento por pulverização, revestimento de leito fluidizado ou coextrusão) ou líquida (coacervação complexa, polimerização interfacial in situ ou evaporação de solvente de emulsões) como meio de suspensão, com exceção da preparação de lipossomas, extrudados fundidos, e o uso de encapsulados naturais como células de levedura (Zuidam & Shimoni, 2010; Dhakal & He, 2020; Hashim et al., 2021).

3.1.1 Secagem por atomização (*spray drying*)

A secagem a qual emprega o *spray dryer* como equipamento, a secagem por atomização, secagem por pulverização ou nebulização apresenta um dos mais antigos registros na literatura para secagem e microencapsulação de diversos compostos (Shahidi & Han, 1993). Isso por ser um processo contínuo e de baixo custo, com capacidade de obter partículas secas de alta qualidade por meio de aparelhos amplamente disponíveis, com promoção de uma produção mais rápida e com melhor controle sobre a distribuição do tamanho das partículas (Akhavan Mahdavi, Jafari, Assadpoor, & Dehnad, 2016).

Este método é amplamente empregado para o encapsulamento de óleos, aromas e fragrâncias, e considerado adequado para encapsular uma série de líquidos e materiais sólidos (Oliveira et al., 2019; Costa, Hijo, Silva, Borges, & Marques, 2016). Um dos primeiros produtos produzidos comercialmente por esta técnica foi a lactose, introduzida no mercado farmacêutico na década de 1960 e usada como excipiente para compressão direta (Gohel & Jogani, 2005).

O *spray dryer* compreende a atomização de um líquido em um pó seco por meio de um injetor, incluindo uma corrente de gás secante quente (Rattes & Oliveira, 2007; Schafroth, Arpagaus, Jadhav, Makne, & Douroumis, 2012), constituindo-se de três estágios:

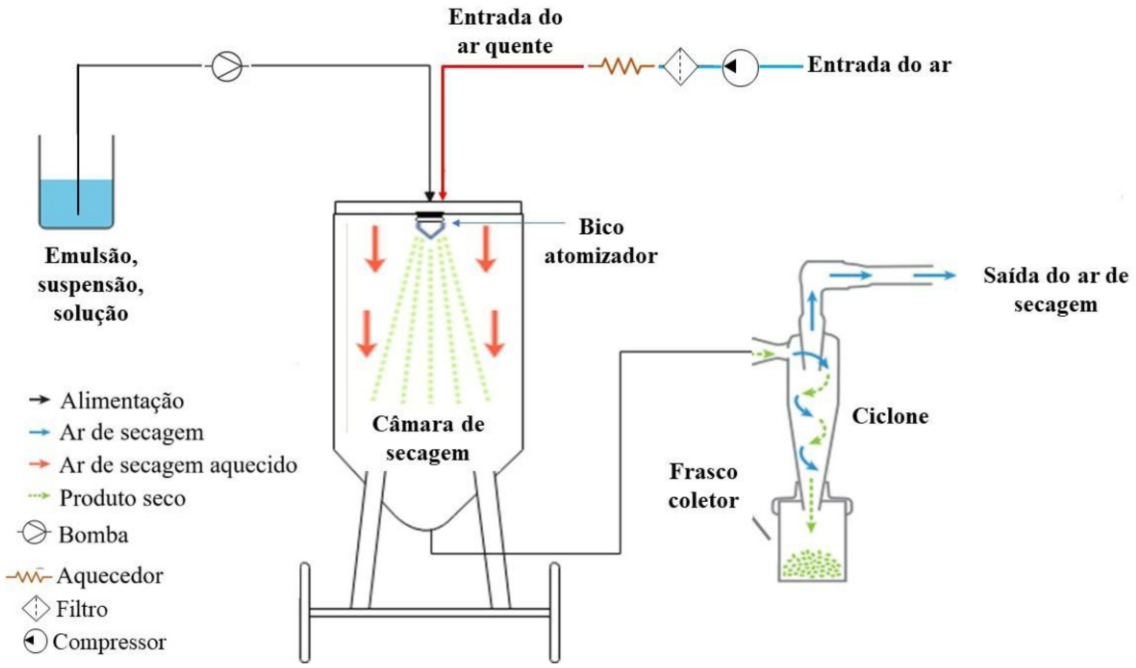
(i) preparação e homogeneização da suspensão ou emulsão e respectiva pulverização do líquido de alimentação por um atomizador;

(ii) secagem da solução de alimentação por um transportador de gás quente para atingir a evaporação do solvente;

(iii) coleta de partículas secas por ciclones ou um filtro.

As etapas gerais para a microencapsulação no método de secagem por *spray dryer* ou secagem por atomização envolvem a homogeneização dos materiais do núcleo e dos materiais da parede para criar um líquido de alimentação (Bakry et al., 2016). Esse líquido de alimentação inclui um material de núcleo e de parede, sob a forma de uma solução, emulsão ou suspensão (dispersão) (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley, & Saurel, 2007), o qual é, posteriormente, injetado na câmara de secagem do *spray dryer*, através de um bico atomizador para a obtenção de pequenas gotículas ou microgotas, que entram em contato com o ar quente da câmera de secagem, causando sua rápida evaporação e formação das microcápsulas (Gharsallaoui et al., 2007; Fatnassi et al., 2013), então, essas partículas secas são eliminadas do gás de secagem em um coletor por um ciclone ou filtro (Schoubben, Blasi, Giovagnoli, Rossi, & Ricci, 2010), como pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11. Diagrama esquemático da secagem por atomização.



Fonte: Ozkan et al., 2019. Adaptado.

As características dos pós secos por pulverização estão relacionadas com os fatores de processamento, incluindo temperatura de secagem, taxa de fluxo de ar de secagem, taxa de fluxo de alimentação, velocidade do atomizador, tipo de agente transportador e concentração do agente transportador (Schoubben et al., 2010; Ozkan et al., 2019.).

Os materiais de parede mais comumente utilizadas na secagem por pulverização são os polissacarídeos, como goma arábica, ciclodextrinas e maltodextrina com diferentes valores de dextrose equivalentes, proteínas como de soro de leite, caseinato de sódio, proteínas de soja e outros, incluindo amido modificado, gelatina, goma gelana e quitosana, sendo os materiais de parede mais comumente utilizados no método de secagem por pulverização os polissacarídeos e proteínas (Lee & Wong, 2014). A seleção deste material de parede é a etapa principal e mais importante nesta técnica, já que alguns parâmetros (como compatibilidade com o produto alimentício, resistência mecânica, tamanho de partícula apropriado, liberação térmica ou de dissolução apropriada, etc.) devem ser observados para a melhor proteção do material do núcleo (Pillai, Prabhasankar, Jena, & Anandharamakrishnan, 2012; Mahdavi, Jafari, Assadpoor, & Dehnad, 2016).

Quando as vantagens desta técnica são avaliadas, são consideradas sua rapidez, simplicidade, economia e facilidade de aumento de escala em comparação com outros processos de secagem, como secagem por congelamento e secagem instantânea, que requerem alto consumo de energia (Gong et al., 2014). Possui possibilidade de utilização de materiais de parede de diversas origens, aumenta a estabilidade do material e reduz custos de transporte e armazenamento devido à forma em pó do produto final. Além disso, as

partículas sólidas obtidas ao final deste processo, por apresentarem baixo teor de umidade e atividade de água e alta eficiência, possuem maior estabilidade química, física e microbiana, se comparado a outras técnicas (Gula, Ren, Zhou, Lu, & Wang, 2013).

Apesar das inúmeras vantagens apresentadas por esta tecnologia, as temperaturas de secagem relativamente altas do *spray* podem danificar compostos sensíveis como licopeno, β-caroteno, antocianinas, vitaminas, corantes e sabores. Além disso, apresenta baixo rendimento do produto devido à perda de partículas secas na parede do vaso de secagem (Zhu et al., 2014). Outra limitação desta técnica está relacionada com os materiais das paredes, com a baixa solubilidade em água de polissacarídeos (alginato, carboximetilcelulose, goma guar) e proteínas (proteínas do soro e de soja, caseinato de sódio) que resultam em limitações na prática da secagem por *spray* (Desai & Park, 2005). A falta de controle do tamanho e forma da gota leva a uma ampla gama de distribuição de tamanho (Dalmoro, Barba, Lamberti, & D'Amore, 2012).

Portanto, o uso da técnica de secagem por spray dryer deve ser decidida considerando-se fatores como a solubilidade e a sensibilidade ao calor dos compostos bioativos, sua estrutura química e natureza do material da parede, presença de outros componentes como açúcares, proteínas e outros, além de aspectos econômicos e temporais. Além disso, a incorporação de outras técnicas pode aumentar a gama de aplicações da secagem por pulverização (Ozkan et al., 2019).

3.1.2 Nano spray dryer

O processo de secagem por pulverização produz pó com partículas submicrônicas de distribuição uniforme de uma solução, nanoemulsão ou nanossuspensão (Li et al., 2010; Arpagaus, John, Collenberg, & Rütti, 2017; Chopde et al., 2020). Este processo apresenta como principais variações entre o *spray dryer* e o nano *spray dryer*:

(a) uso de técnica de atomização eficiente para atomização de alimentação;

(b) padrão de fluxo laminar de ar de secagem na câmara;

(c) uso de sistema de recuperação de pó eficiente.

No que concerne à produção das gotículas e coleta das nanopartículas secas obtidas, o design deste tipo de secador é reorganizado (se comparado ao processo de secagem por *spray dryer*) (Arpagaus et al., 2018). As etapas do processo de um nano *spray dryer* para a produção de pós submicrônicos com distribuições muito estreitas e altos rendimentos são (Arpagaus & Schafroth, 2009; Chopde et al., 2020; Jafari, Arpagaus, Cerqueira, & Samborska, 2021):

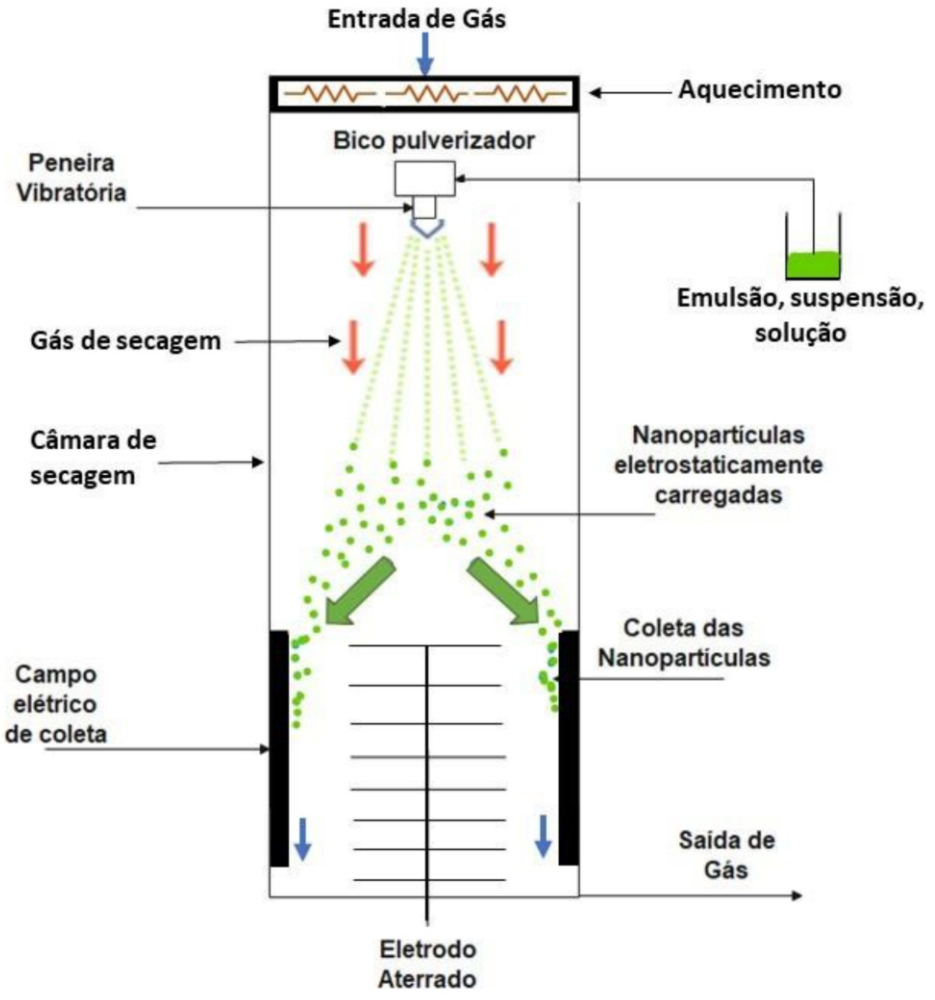
(1) Formação de gotículas por atomização do fornecimento de líquido;

(2) Secagem das gotículas no gás de secagem e formação de partículas secas;

(3) Separação de partículas e coleta das partículas secas do gás de secagem.

O método é baseado na tecnologia de malha de vibração desenvolvida para nebulizadores de inalação (Figura 12), que consiste na pulverização de uma malha vibratória fina contendo uma série de orifícios acionadas piezoeletricamente. A alimentação da emulsão sobre esta malha é vibrada na frequência ultrassônica (ajustável na faixa de 80 a 140 kHz) por um atuador piezoelétrico, seguindo o resultado do *spray* de alimentação que ejetam milhões de gotas de tamanho uniforme. Devido à alta velocidade das vibrações, cada um dos orifícios da malha atua como uma microbomba, puxando o fluido através dos orifícios para formar gotículas idênticas, resultando na formação de um aerossol fino de baixa velocidade otimizado para secagem por nano pulverização (Schmid, 2011; Bazana, Codevilla, Menezes, 2019; Chopde et al., 2020; Jafari et al., 2021).

Figura 12. Processo de secagem por pulverização por nano *spray dryer*.



Fonte: Arpagaus et al (2018). Adaptado.

Após serem ejetadas dentro da câmara de secagem, o processo de secagem ocorre onde as gotículas de tamanho submicrônico da emulsão ejetadas do nebulizador entram em contato com a corrente laminar do gás de secagem quente. Essa corrente é gerada por um disco compacto poroso fixado com uma bobina de aquecimento elétrico que também confirma o fluxo laminar de ar de secagem na câmara de secagem. Isso evita a formação desenfreada de *spray* e a perda de partículas na superfície interna da câmara de secagem, além de criar um fluxo laminar de gás secante para uma secagem controlada das gotas finas pulverizadas (Schmid, 2011; Bazana et al., 2019; Chopde et al., 2020; Jafari et al., 2021).

O fluxo laminar de gás direciona as partículas secas para um coletor de partículas eletrostáticas (que consiste em um cilindro de aço inoxidável liso e um contra-eletrodo dentro do cilindro), onde uma alta tensão de cerca de 17 kV é aplicada entre dois eletrodos (um ânodo e um cátodo) e as partículas secas são eletricamente carregadas e desviadas em direção à parede interna do eletrodo de coleta. Posteriormente, as partículas de pó seco são cuidadosamente removidas da superfície interna do cilindro do eletrodo coletor com um raspador de partículas e então colocadas em embalagens adequadas e armazenadas sob condições controladas e secas (Schmid, 2011; Bazana et al., 2019; Chopde et al., 2020; Jafari et al., 2021).

Quando comparamos o método com a secagem por *spray dryer*, o nano *spray* pode apresentar melhor rendimento do processo, uma vez que a coleta do pó por força eletrostática é independente da massa da partícula como acontece nos ciclones do *spray dryer* (Del Gaudio et al., 2017; Li, Anton, Arpagaus, Belleteix, & Vandamme, 2010).

Quanto aos parâmetros envolvidos no processo, são diversos e que podem ser variados para otimizar o rendimento, a eficiência do encapsulamento, o tamanho de partícula, o perfil de liberação, sua estabilidade e morfologia (Arpagaus, 2018). Por exemplo, para aplicação específica das nanopartículas obtidas, é possível determinar um conjunto otimizado de parâmetros de processo, como o controle do tamanho final da partícula em função do tamanho da malha do spray, bem como na concentração de sólidos que apresentam impacto na mesma (Amsalem et al., 2017; Anzar et al., 2018).

As principais vantagens atribuídas à nano secagem por pulverização sobre a secagem por pulverização convencional incluem o uso de pequena amostra de líquido para secagem, produção de partículas finas (0,3–5μm) e rendimentos mais elevados (Assadpour & Jafari, 2019).

Para produzir partículas em nanoescala usando a tecnologia de secagem por pulverização, algumas modificações na configuração experimental dos secadores por pulverização convencionais são necessárias (Jafari et al., 2021)

3.1.3 Spray chilling

Spray chilling, spray-cooling, spray congealing, prilling ou simplesmente denominado como *spray* a baixas temperaturas é outra tecnologia que pode ser empregada para encapsulação e que produz agentes ativos revestidos utilizando substâncias hidrofóbicas (lipídios como agentes) como material de parede. O agente ativo pode ser solúvel nos lipídios, ou estar presente como partículas secas ou emulsões aquosas (Favaro-Trindade, Okuro, & Matos-Jr, 2015). Além disso, o principal fator que separa o *spray chilling* de outras técnicas de microencapsulação, como spray drying e a liofilização, é o tipo de material de parede. Nessas duas técnicas, geralmente são utilizados materiais de parede hidrofílicos à base de carboidratos ou proteínas (Dianawati, Mishra, & Shah, 2016). Em contrapartida, carreadores hidrofóbicos à base de gordura são empregados como materiais de parede no *spray chilling* (Arslan-Tontul & Erbas, 2017).

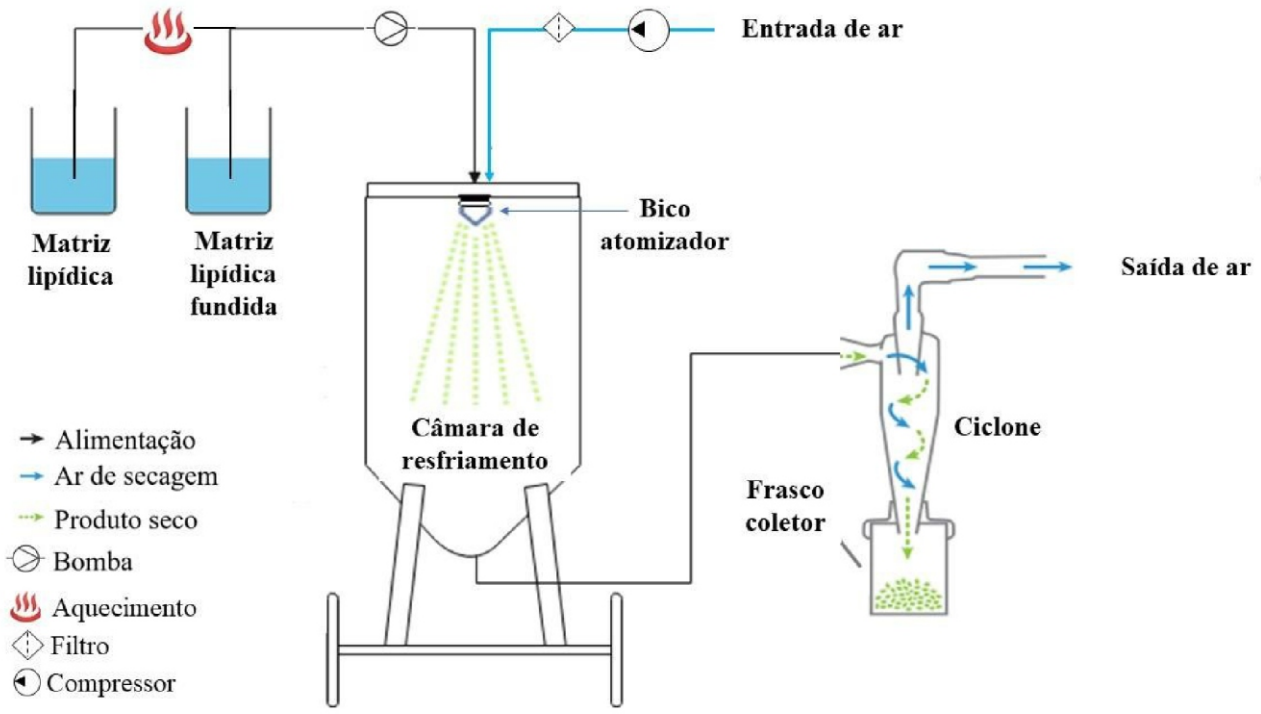
Este método apresenta como característica a não aplicação de altas temperaturas em contrapartida a outras técnicas de microencapsulação, além do mecanismo de liberação que por muitas vezes apresenta um bom rendimento. Neste método, o resfriamento por *spray* ocorre rapidamente, é de fácil operação e custo razoável comparado à liofilização. Devido a esses benefícios, o *spray chilling* tem sido usado na encapsulação de materiais ativos e funcionais que podem ser voláteis e/ou sensíveis ao calor/água (Okuro, Matos-Jr, & Favaro-Trindade, 2013; Matos Junior, Comunian, Thomazini, & Fávaro-Trindade, 2017).

Uma vez que os agentes carreadores (ou materiais de parede) usados no resfriamento por *spray* são hidrofóbicos, os pós obtidos são insolúveis em água, protegendo assim o material do núcleo. Normalmente, os materiais de revestimento no resfriamento por *spray* são lipídios como ceras de abelha e carnaúba, óleo de rícino hidrogenado, cera microcristalizada, cera de parafina, ácido oléico, ácido esteárico e álcool esteárico (Okuro et al., 2013), poliglicerol polirricinoleato que pode ser amplamente utilizado como emulsificante, uma vez que apresenta um número de equilíbrio hidrofílico-lipofílico ou seus derivados hidrofóbicos com um ponto de fusão razoavelmente alto, onde um núcleo são materiais hidrofílicos como vitaminas, probióticos ou enzimas solúveis em água (Desai & Jin Park, 2005; Arslan-Tontul & Erbas, 2017).

Assim, na área de alimentos, a técnica de encapsulação por *spray chilling* tornou-se uma estratégia promissora para estabilizar substâncias sensíveis ou incomuns em uma matriz lipídica (Desai & Jin Park, 2005; Pacuar et al., 2016). Morfologicamente, as micropartículas originadas por este método são classificadas em um sistema matricial (veja Figura 2 deste capítulo), uma vez que apresentam a estrutura em que o material do núcleo é homogeneamente distribuído por todo o material de parede.

O método de *spray chilling* (Figura 13) é, portanto, baseado na atomização a baixas temperaturas da emulsão, dispersão ou solução contendo a substância de interesse e um agente carreador lipídico liquefeito (substância ativa e material lipídico fundido). A mistura homogênea do núcleo e materiais de revestimento de lipídio fundidos são atomizados através de um pulverizador em uma câmara fria (temperatura abaixo do ponto de fusão do lipídeo), que pode ser uma via bocal, disco giratório ou (centrífuga) co-extrusão, na qual as gotículas em contato com o ar frio solidificam para formar micropartículas lipídicas sólidas (SLMs, do inglês *solid lipid microparticles*) que retêm e protegem a substância ativa (Zuidam & Shimoni, 2010). O ar resfriado solidifica o lipídio em torno das partículas do núcleo. Em condições de operação de atomização controlada, o portador é instantaneamente solidificado para formar micropartículas esféricas (Okuro et al., 2013; Matos Junior, Sabatino, Passerini, Fávaro-Trindade, & Albertini, 2015; Mazzocato, Thomazini, & Favaro-Trindade, 2019).

Figura 13. Atomização por *spray chilling*.



Fonte: Mazzocato et al. (2019). Adaptado.

Além disso, a microencapsulação por *spray chilling* pode ser utilizada como uma alternativa para minimizar os fatores que interferem em sua estabilidade, permitir a liberação controlada, alterar sua solubilidade, fornecer proteção física e ampliar sua aplicabilidade em processos alimentares (Okuro et al., 2013; Paucar et al., 2016; Mazzocato et al., 2019).

Vale ressaltar que no processo de encapsulamento por *spray chilling* a gordura vegetal, que é comumente utilizada, é previamente derretida, e posteriormente misturada por homogeneização mecânica juntamente com composto bioativo, até a sua completa dispersão antes de ser atomizada em câmara fria, e produzir as micropartículas com o composto bioativo em toda a sua estrutura (Okuro et al., 2013; Mazzocato et al., 2019).

O *spray chilling* é um processo que apresenta como vantagens o baixo custo, ser um processo limpo (que não requer a utilização de solventes), processo contínuo, escalável e que não requer altas temperaturas, além de boa proteção de substâncias ativas sensíveis (Zuidam & Shimoni, 2010; Arslan-Tontul & Erbas, 2017).

3.1.4 Secagem por congelamento

A liofilização, também conhecida como criodessecação ou *freeze drying*, é uma técnica de secagem que promove a desidratação das misturas congeladas de materiais de núcleo e parede por sublimação sob vácuo e baixas temperaturas. O resultado é um material seco (Laokuldilok & Kanha, 2015), com sua estrutura química mantida, e baixo risco de alterações indesejáveis, onde a composição e a estrutura do material da parede têm um impacto profundo na proteção e na liberação controlada do material do núcleo (Ozkan et al., 2019). Esta técnica é considerada a mais adequada para a desidratação de quase todas as substâncias sensíveis ao calor, como óleos naturais, cores, aromas, fármacos, bem como componentes solúveis em água (Desai & Jin Park, 2005; Ezhilarasi, Indrani, Jena, & Anandharamakrishnan, 2013).

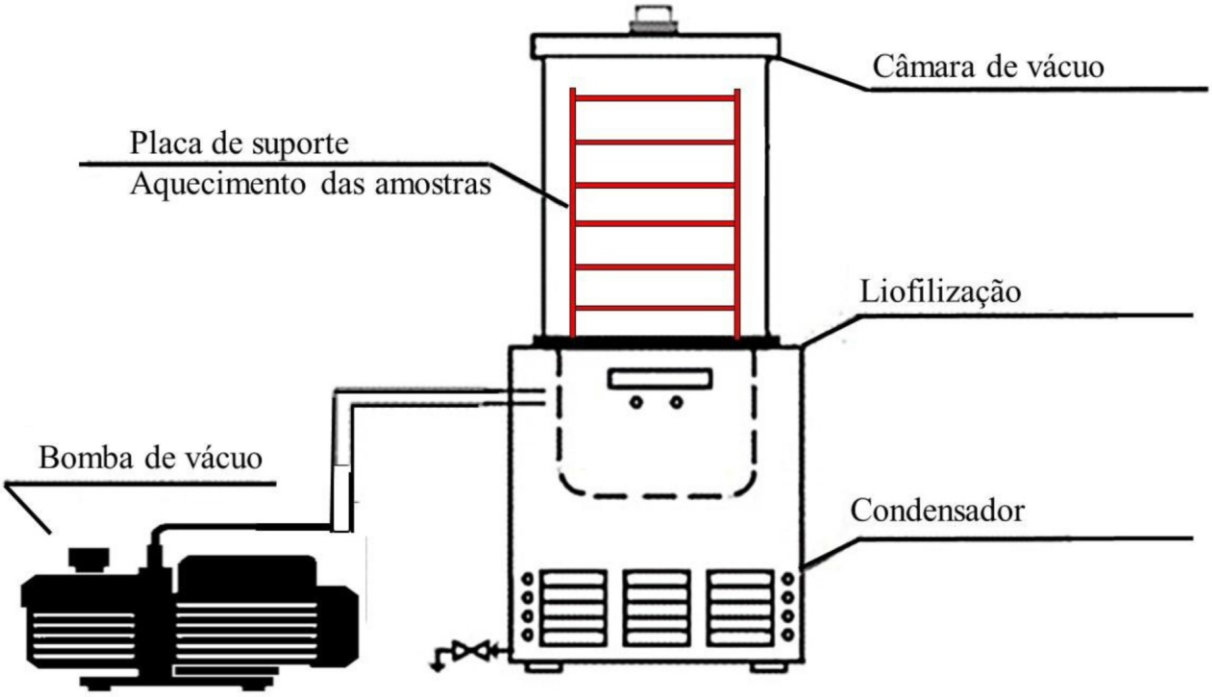
O processo de liofilização (Figura 14) pode ser dividido em três etapas:

1. Congelamento;
2. Secagem primária (secagem principal, secagem por sublimação);
3. Secundária secagem (secagem por dessorção).

O passo prévio à liofilização é a dissolução do material a ser encapsulado juntamente com o encapsulante; a seguir, procede ao congelamento da solução, a baixas temperaturas (geralmente entre −20°C e −40°C). Nesta etapa a água é cristalizada ao máximo junto com a cristalização de alguns componentes sólidos solúveis, a fim de transformar as soluções aquosas em uma mistura de duas fases sendo uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. O congelamento pode ser realizado a parte ou no próprio recinto do liofilizador. O tipo e a velocidade de congelamento têm grande efeito na estrutura final, porque a distribuição dos poros nas partículas depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formados. As condições mais adequadas para o

congelamento dependem das características particulares do alimento a ser liofilizado. Ao liofilizar, se houver a formação de cristais de gelo grandes, com geração de uma rede cristalina, tem-se uma boa estrutura porosa, que facilitará o escape de vapor d'água durante a liofilização, bem como a entrada da água em sua posterior reidratação. Ao longo da secagem por liofilização distinguem-se duas etapas: desidratação primária, onde ocorre a maior retirada do conteúdo de água e a secundária, que visa retirar uma certa quantia da água ligada (Ozkan et al., 2019).

Figura 14. Liofilização.



Fonte: do autor.

A secagem primária consiste no transporte de energia para transformar o gelo em vapor de água sob baixa pressão e, em seguida, transporte do vapor de água da superfície de sublimação na câmara de secagem para o sistema de condensação ou absorção (serpentina do condensador) para o vapor evaporado (Ozkan et al., 2019).

Na secagem secundária, após o gelo ser completamente sublimado, a energia é transportada para remover a água adsorvida adicional (ligada não congelada) dos sólidos. Esta é a água que não se separou como gelo durante o congelamento, e não sublimou, atingindo um teor de umidade seguro e estável do produto final durante o armazenamento (Pikal, Shah, Roy, & Putman, 1990; Oetjen & Haseley, 2004; Ozkan et al., 2019).

O encapsulamento de ingredientes alimentícios e nutracêuticos por liofilização é alcançada pela dissolução, dispersão ou emulsificação desses materiais centrais em sistemas de matriz de material de parede e, em seguida, liofilização, geralmente resultando em uma estrutura porosa, não encolhida e incerta (Fang e Bhandari, 2010). A maioria dos materiais de parede comumente usados são proteínas, maltodextrinas, dissacarídeos e gomas, atuando com função de grau crioprotetor para ajudar a estabilizar agentes ativos sensíveis como probióticos e enzimas (Kailasapathy, 2002; Kailasapathy & Sureeta, 2004; Liu, Niu, Yin, & Jiang, 2011). Muitas vezes, alguns excipientes especiais, como tampões (fosfato, tris HCl, citrato e histidina) e sais (cloreto de sódio, cloreto de potássio) são adicionados para proteger o sistema (Morgan, Herman, White, & Vesey, 2006; Ozkan et al., 2019).

A qualidade do produto encapsulado liofilizado também é afetada pelas condições de operação. Como o processo de desidratação para encapsulamento por liofilização é operado em baixas temperaturas, a principal vantagem desta técnica é que é um bom método para a secagem de compostos sensíveis ao calor, como probióticos, enzimas e peptídeos. Outras vantagens incluem um teor de umidade final controlável, boa estabilidade e alta qualidade (cores atraentes, textura), evitando deteriorações causadas por oxidação ou modificação química (Anwar & Kunz, 2011; Malik et al., 2020).

No entanto, a técnica de liofilização tem algumas desvantagens, como longo tempo de processo (mais de 20 h), capital e custos operacionais elevados em comparação com outras técnicas. A estrutura porosa dos pós liofilizados devido à sublimação do gelo durante o processo também é uma das principais limitações, já que podem ser encontrados problemas relacionados com a falta de controle sobre o tamanho das partículas (Anandharamakrishnan, Rielly, & Stapley, 2010; Ramírez, Giraldo, & Orrego, 2015; Malik et al., 2020). Além disso, as partículas produzidas por liofilização geralmente têm uma alta porosidade, o que afeta significativamente a estabilidade do componente encapsulado e sua eficiência de encapsulação e retenção (Ezhilarasi et al., 2013; González-Ortega, Faieta, Di Mattia, Valbonetti, & Pittia, 2020).

O método de liofilização gera produtos de qualidade superior, que são facilmente reconstituídos, não afetam suas propriedades sensoriais, mantém a biofuncionalidade e confere maior vida de prateleira para compostos bioativos (Ezhilarasi et al., 2013; González-Ortega et al., 2020; Malik et al., 2020; Mudalip et al., 2021).

3.1.5 Coacervação

Atualmente, a coacervação é um dos métodos mais eficazes de micro/nano encapsulação aplicados às indústrias alimentícia e farmacêutica. O seu termo “coacervação” foi introduzido em 1930 por Bungenberg de Jong e Kruyt (1930), para um processo de

separação em duas fases líquidas de soluções coloidais aquosas, uma rica em coloide (coacervato) e a outra pobre em coloide (Xiao et al., 2014; Butstraen & Salaün, 2014).

Esta técnica pode ser definida como um fenômeno coloidal que envolve a separação de fase líquido-líquido de um único polímero ou uma mistura de dois polímeros, com carga oposta em solução aquosa desencadeada por interações eletrostáticas, ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, interações atrativas induzidas por polarização, bem como químicas ou agentes de reticulação enzimáticos. Durante o processo de encapsulação pelo método de coacervação, o polímero coacervado é depositado em torno do ingrediente ativo (núcleo) levando ao assentamento do núcleo encapsulado (Xiao et al., 2014; Agnihotri, 2020).

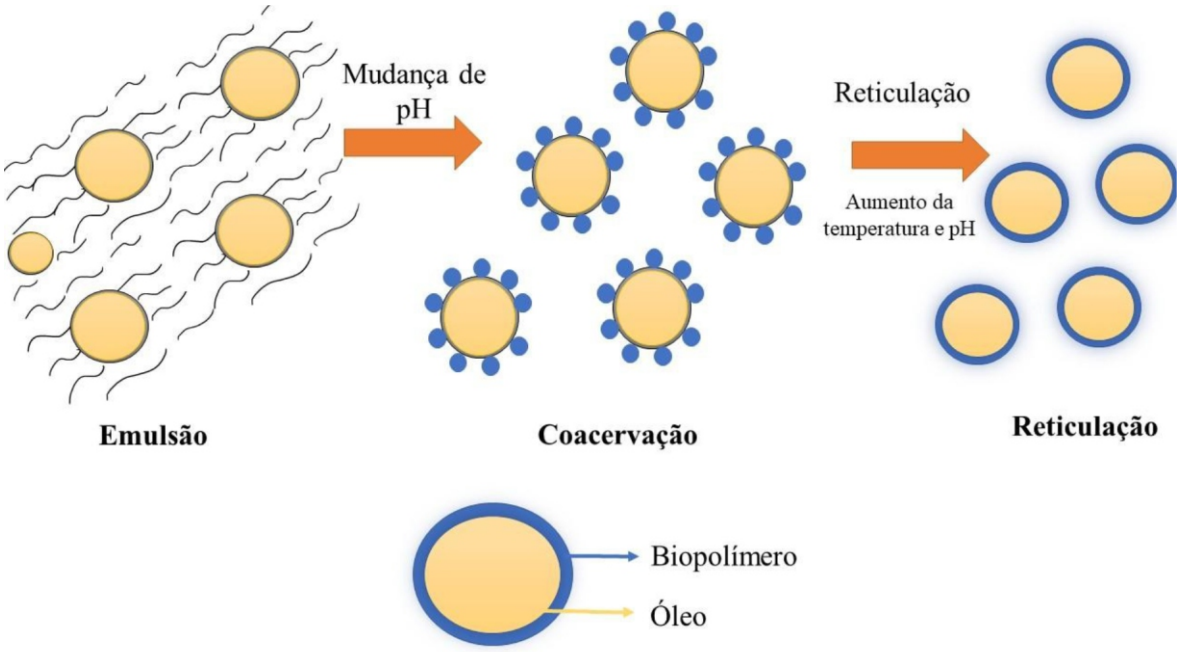
O complexo processo de coacervação é um sistema trifásico envolvendo o solvente, o material ativo e o material de revestimento (Ortega-Rivas, Juliano, & Yan, 2006; Timilsena, Akanbi, Khalid, Adhikari, & Barrow, 2019). Em geral, este processo envolve quatro etapas:

1. Preparação de uma solução aquosa de dois ou mais polímeros. A solução é geralmente preparada acima da temperatura de gelificação e acima do ponto isoelétrico da proteína;
2. Mistura da fase hidrofóbica à solução aquosa de um polímero e homogeneização da mistura;
3. Mudança de pH e temperatura para um determinado nível necessário para induzir a coacervação e separação de fases;
4. Endurecimento das matrizes poliméricas usando temperatura elevada, agente de dessolvatação ou reticulador.

A coacervação é iniciada pela redução da temperatura ou pela alteração do pH ou pela diluição ou adição de um sal. Começa com a formação de partículas de coacervato muito finas, dando origem a turvação na solução reagente, sendo este estágio de coacervação denominado de micro-coacervação. Se o processo de coacervação for continuado, as micropartículas se aglutinam de modo que partículas maiores são formadas. Essas partículas maiores possuem densidade mais alta, de modo que tendem a se depositar no fundo do recipiente. Depois de algum tempo, um sistema de duas fases claramente visível é formado. Este estágio é denominado macro-coacervação (Timilsena et al., 2019; Tarone, Cazarin, & Junior, 2020, Costa et al., 2020). Embora a morfologia e o tamanho da microcápsula sejam afetados pelas condições de processamento, elas geralmente são mononucleadas ou multinucleadas.

As técnicas de coacervação (Figura 15) podem ser divididas em dois grupos principais: as aquosas e as orgânicas. A coacervação em fase aquosa é utilizada para encapsular materiais insolúveis em água (materiais de núcleo hidrofóbico apresentados no estado sólido ou líquido), já a coacervação em fase orgânica permite o encapsulamento de material hidrossolúvel, mas requer o uso de solventes orgânicos.

Figura 15. Processo básico da coacervação.



Fonte:Timilsena et al (2019). Adaptado.

Além disso, a coacervação na fase aquosa é classificada em simples e complexa, sendo ambas baseadas no mecanismo de separação de fases envolvido. Logo, o processo de coacervação pode ser simples ou complexo, dependendo do número de polímeros usados (Ezhilarasi et al.,2013). Enquanto a coacervação simples envolve apenas um tipo de polímero com a adição de agentes hidrofílicos fortes à solução coloidal, a coacervação complexa é produzida pela mistura de dois ou mais tipos de polímeros para a formação da parede em torno de um núcleo ativo (Okzan et al., 2019).

Na coacervação simples, à utilização de um único polímero para a formação dos coacervatos onde é salgado pela ação de eletrólitos, ou é ou dissolvido, sendo dessolvatado pela adição de um solvente não miscível em água ou pelo aumento/diminuição da temperatura. Essas condições promovem as interações macromolécula-macromolécula em detrimento das interações macromolécula-solvente (Timilsena et al., 2019). A coacervação simples é relativamente menos estudada em alimentos. Muitos materiais de revestimento foram avaliados para coacervação simples, incluindo gelatina, alginato, quitosana, glucano e derivados de celulose. Um sistema de revestimento muito estudado é a gelatina/goma arábica, em que a gelatina é usada como um polieletrólito positivo e a goma arábica é usada como um polieletrólito negativo (Dubey, Shami, & Bhasker Rao, 2009; Wang, Adhikari, & Barrow, 2014).

A coacervação complexa, por sua vez, envolve a separação de fases de um ou mais hidrocolóides de carga oposta, onde duas ou mais soluções poliméricas com cargas

opostas interagem eletrostaticamente entre si na água. Isso resulta em duas fases líquidas imiscíveis: a fase densa rica em polímero e a fase contínua pobre em polímero (a separação de fases de um ou mais hidrocolóides de carga oposta, comumente uma proteína com um polissacarídeo, que formam uma parede de matriz em torno do composto ativo, que havia sido previamente suspenso ou emulsionado em um dos materiais de parede utilizados). O primeiro é comumente chamado de coacervado e pode ser usado como revestimento para uma ampla gama de materiais de núcleo. Quando os materiais do núcleo insolúveis em água são apresentados, as microgotículas coacervadas se formam para interagir com a superfície do núcleo e, gradualmente, formar uma casca contínua (Yan & Zhang, 2014). Os complexos solúveis, agregados ou precipitados são obtidos após filtração ou centrifugação aplicada para obtenção das microcápsulas, seguida de lavagem com solvente apropriado e secagem. Alguns hidrocoloides usados para produzir coacervados complexos incluem gelatina, proteínas de soro de leite, proteína de ervilha, lactoglobulina, alginato, carragenina, pectina e goma arábica, entre outros (Koupantsis, Pavlidou, & Paraskevopoulou, 2014).

O poder da interação entre os biopolímeros aplicados nesta técnica depende de vários fatores, como o tipo de biopolímero (massa molar, flexibilidade e carga), pH, força iônica, concentração e a proporção dos biopolímeros (Turgeon, Schmidt, & Sanchez, 2007).

A técnica de coacervação é considerada atraente comparada a outras técnicas de encapsulação devido à sua alta capacidade de carga, baixa temperatura, redução das perdas por evaporação ou degradação térmica e compatibilidade para controlar a liberação de materiais ativos (Taneja & Singh, 2012). Além disso, não é necessário um equipamento específico para sua implantação (Gomez-Estaca, Comunian, Montero, Ferro-Furtado, & Favaro-Trindade, 2016) e possui condições simples de preparo como solvente atóxico e baixa utilização de agitação (Jain, Thakur, Ghoshal, Katare, & Shivhare, 2016). Por outro lado, o alto custo do procedimento de isolamento de partículas e a complexidade da técnica também devem ser levados em consideração. Dentre as vantagens, inclui-se: mudanças leves de temperatura, alta integridade da matriz, alta carga do núcleo, máxima eficiência de encapsulamento e ótima liberação controlada (Timilsena et al., 2019; Okzan et al., 2019; Tarone, Cazarin, Junior, 2020, Costa et al., 2020).

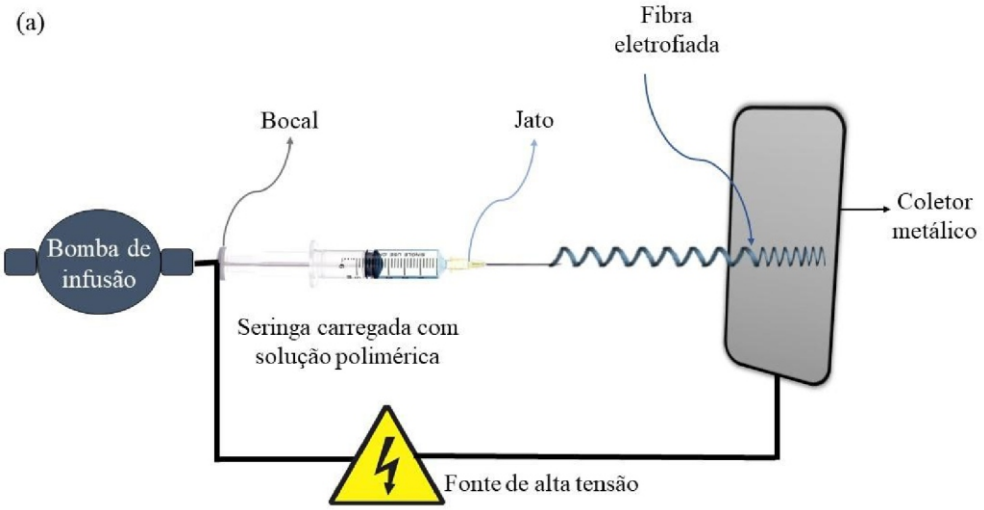
Muitos parâmetros físicos e químicos influenciam o complexo processo de coacervação. Alguns são ambientais, tais como pH, temperatura, pressão e agitação; outros são baseados nas propriedades dos polímeros, incluindo peso molecular, força iônica, concentração e a razão proteína / polissacarídeo. Um dos principais fatores limitantes para a aplicação comercial da tecnologia de coacervação complexa é sua sensibilidade ao pH e força iônica (Okzan et al., 2019; Tarone et al., 2020, Costa et al., 2020).

3.1.6 Eletrofiação (*electrospinning e electrospraying*)

A eletrofiação (*electrospinning*) é uma técnica muito eficiente na produção de materiais micro e nanoestruturados. A partir desta técnica é possível encapsular diversos materiais em uma variedade muito grande de matrizes poliméricas. A técnica baseia-se na utilização de um diferencial elétrico que ejeta uma solução polimérica, normalmente presente em uma seringa. Durante o processo, o solvente é evaporado e o polímero endurecido é coletado em um anteparo metálico fixo ou rotativo. As fibras produzidas continuamente possuem diâmetros médios na ordem de nanômetros até milímetros. Vários fatores são determinantes para a obtenção de fibras nanoestruturadas, entre eles a concentração de polímero na solução, o potencial elétrico aplicado, a distância entre a ponta da seringa e o coletor, a taxa de alimentação de material, entre outros (Ricaurte & Quintanilla-Carvajal, 2019; Ghorani & Tucker, 2015).

A Figura 16 representa um processo típico de eletrofiação.

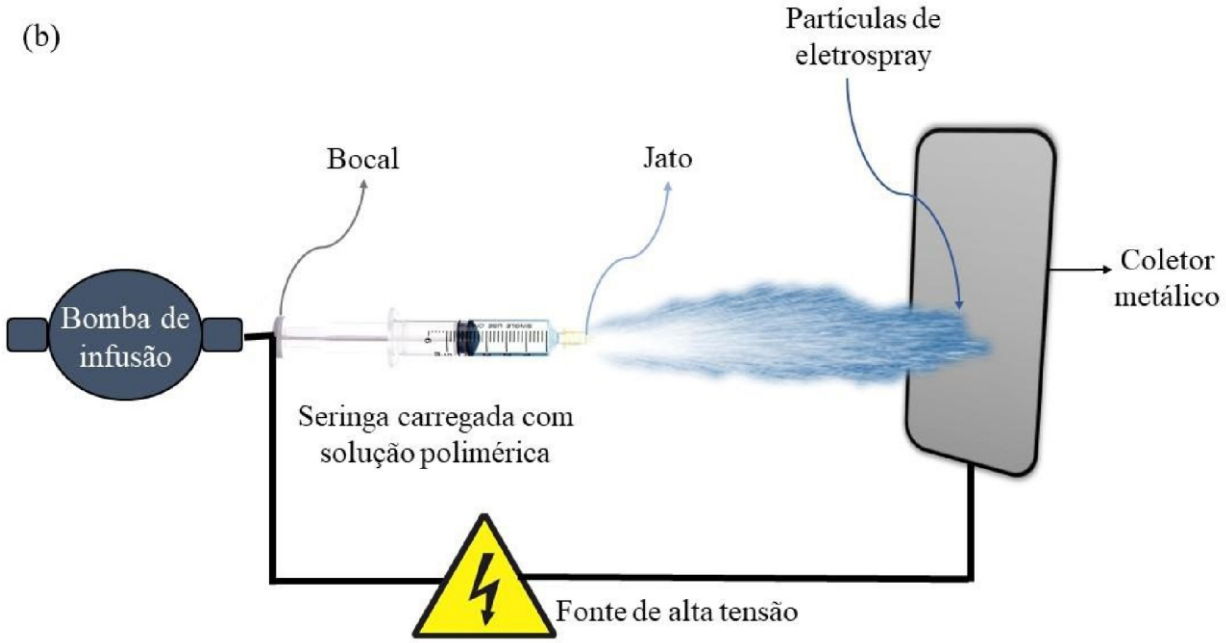
Figura 16. Esquema básico de um sistema de eletrofiação.



Fonte: Fathi, Martín & McClements (2014). Adaptado.

Uma variação da técnica é conhecida como electrospraying (Figura 17); o aparato utilizado é o mesmo, entretanto um ajuste nas condições operacionais produz partículas pequenas ao invés de fibras contínuas. O processo é interessante por permitir a produção em temperaturas mais amenas que outros processos de secagem convencionais. Entretanto, o grande desafio que a indústria precisa contornar é a escalabilidade.

Figura 17. Esquema básico de um sistema de *electrospraying*.



Fonte: Moreira et al (2021). Adaptado.

Na indústria de alimentos, as aplicações concentram-se na encapsulação de compostos bioativos (vitaminas, sais minerais, antioxidantes, fitoquímicos etc.) para sistemas de liberação controlada, e na produção de embalagens (Coelho, Estevinho & Rocha, 2021).

4. NANOENCAPSULAÇÃO DE INGREDIENTES ALIMENTARES

Nos últimos anos tem havido um interesse crescente de pesquisa na área da nanoencapsulação de ingredientes alimentícios com o emprego de diferentes técnicas e a incorporação dos ingredientes nanoencapsulados em vários produtos alimentícios, conhecidos como “alimentos funcionais”.

Isso inclui a entrega de diversas classes de ingredientes bioativos, como polifenóis, carotenóides, vitaminas, minerais, óleos essenciais e sabores. Muitos métodos de

encapsulação foram experimentados e sugeridos para um grupo amplo de compostos bioativos: emulsificação, secagem por atomização, coacervação, aprisionamento lipossômico, complexação de proteínas-polissacarídeos, complexação de inclusão, encapsulação em nanopartículas lipídicas sólidas e carreadores lipídicos nanoestruturados, entre outros.

Além disso, vários compostos bioativos nanoencapsulados foram incorporados a produtos alimentícios, incluindo leite e laticínios, barras de cereais, pão, cereais matinais, produtos de carne, biscoitos, bolos, sucos, óleos e gomas de mascar. A abordagem de nanoencapsulação fornece algumas vantagens potenciais na melhoria da solubilidade/dispersibilidade dos compostos bioativos (particularmente, compostos hidrofóbicos) em alimentos, controlando sua liberação no trato digestivo gastrointestinal, mascarando suas propriedades sensoriais indesejáveis, melhorando sua estabilidade química em alimentos durante a fabricação e armazenamento, e mantendo sua funcionalidade/eficácia no corpo humano.

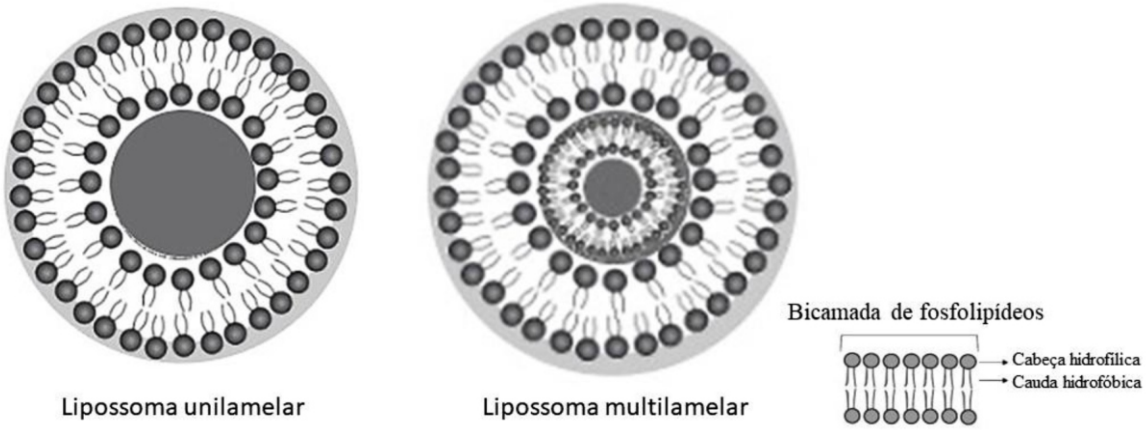
Nos itens a seguir serão discutidos as novas e convencionais técnicas que têm sido usadas para nanoencapsulação dos compostos bioativos mencionados.

4.1 Lipossomas

Lipossomas são vesículas nanométricas compostas por uma ou mais bicamadas fosfolipídicas concêntricas, as quais são separadas por um meio aquoso interno. Desta forma, devido à sua estrutura, os lipossomas têm sido utilizados para encapsular tanto as substâncias hidrofílicas, que ficam no compartimento aquoso, bem como as lipofílicas, que são inseridas ou ficam adsorvidas nas bicamadas. Quando existe apenas única bicamada lipídica em torno do compartimento aquoso interno, os lipossomas são denominados de unilamelares, podendo ser lipossomas unilamelares pequenos (SUV, de small unilamellar vesicles) ou lipossomas unilamelares grandes (LUV, de large unilamellar vesicles), como apresentado na Figura 18.

Em geral, lipossomas multilamelares (MLV, de multilamelar vesicles) apresentam maior tamanho devido às múltiplas bicamadas. O número de bicamadas e o tamanho dos lipossomas está diretamente relacionado aos seus constituintes, à quantidade total de lipídios e ao método de preparo (Freitas, Batistela, Caetano, & Hioka, 2020; Sá et al., 2018; Cheng et al., 2020; Veloso, Andrade, & Castanheira, 2021; Mirzavi et al., 2021).

Figura 18. Estrutura geral dos lipossomas: LUV e MLV.



Fonte: Guimarães, Cavaco-Paulo & Nogueira. (2021). Adaptado.

Os lipossomas são constituídos principalmente por fosfolipídios naturais ou sintéticos e esteróis (colesterol e seus derivados), podendo também conter um antioxidante lipofílico. Os fosfolipídios mais utilizados nas formulações de lipossomas são os que apresentam uma forma cilíndrica, como fosfatidilcolina, fosfatidilserina, fosfatidilglicerol e esfingomielina, pois tendem a se organizar na forma de bicamada estável em solução aquosa. As fosfatidilcolinas de soja e de ovo são as mais empregadas em estudos de formulação de lipossomas, uma vez que elas exibem grande estabilidade frente a variações de pH ou de concentração de sais no meio (Cheng et al., 2020; veloso, Andrade, & Castanheira, 2021; Mirzavi et al., 2021).

A formação das vesículas nanométricas ocorre espontaneamente quando os fosfolipídios e os outros constituintes são colocados em contato com a fase aquosa. Desta forma, o principal método de preparo e o mais simplificado é a hidratação de filme lipídico ou método Bangham. Além deste, outros métodos podem também ser utilizados, como o método REV (evaporação em fase reversa), FPV (vesículas obtidas em prensa de French), injeção de éter (e outros solventes), DRV (desidratação e reidratação), congelamento e descongelamento, dentre outros (Cheng et al., 2020; Veloso, Andrade, & Castanheira, 2021; Mirzavi et al., 2021).

A temperatura de transição de fase (Tc) dos fosfolipídios é um importante parâmetro influenciado pelos componentes dos lipossomas. Trata-se da temperatura em que os lipídios mudam de uma organização em fase gel com as suas cadeias carbônicas mais ordenadas, para uma fase de cristal-líquido, em que suas moléculas têm maior liberdade de movimento e os grupamentos hidrofílicos tornam-se ainda mais hidratados. Os valores de Tc são diretamente influenciados pelo comprimento e pela presença de insaturações na cadeia lipídica e o uso de lipídeos variados pode levar a diferentes níveis de fluidez da membrana na mesma temperatura. Lipídios com Tc elevada tendem a produzir lipossomas

mais rígidos em temperatura ambiente, bem como fosfolipídios com Tc menor tendem a produzir lipossomas mais fluidos. A utilização de colesterol e seus derivados é muito importante na modulação da Tc de diferentes lipossomas (Sá et al., 2018; Cheng et al., 2020; Veloso, Andrade, & Castanheira, 2021; Mirzavi et al., 2021).

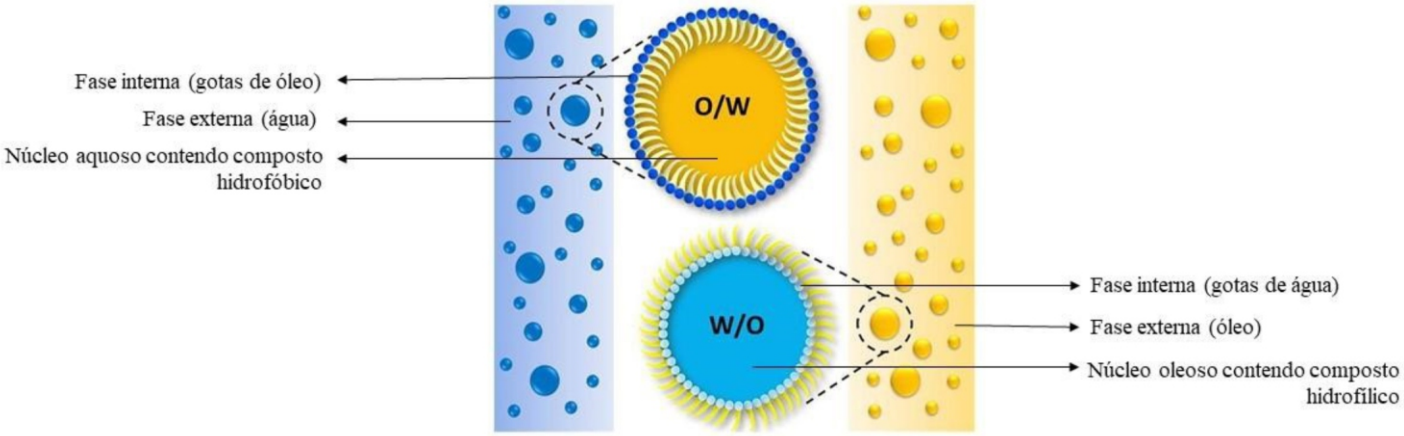
Além de sua versatilidade em carrear ativos hidrofílicos e lipofílicos, os lipossomas apresentam vantagens em relação à sua produção e utilização, como a biodegradabilidade, biocompatibilidade, geralmente não são imunogênicos, possuem fácil preparação, apresentam capacidade de interação e transporte através de membranas celulares, aumentando a captação celular e têm potencial para liberação controlada de bioativos encapsulados. Por outro lado, o rendimento de encapsulação de substâncias hidrofílicas é mais baixo, e alguns métodos de preparo de lipossomas utilizam solventes orgânicos tóxicos, como o clorofórmio ou éter, sendo necessário o controle do residual destes solventes após sua remoção, bem como a sua remoção do produto final, dependendo da aplicação dos mesmos. Além disso, lipossomas convencionais são termodinamicamente instáveis, podendo agregar, fundir, degradar ou hidrolisar, o que resultaria em liberação de compostos encapsulados, especialmente nos ambientes gastrointestinais, em que sua resistência já é bem mais baixa (Nguyen et al., 2016; Tahara, Nishio, & Takeuchi, 2017; Tan, Wang, & Sun, 2021; Veloso, Andrade, & Castanheira, 2021).

Neste contexto, os lipossomas são versáteis para encapsular bioativos alimentícios com diferentes estruturas (Subramani & Ganapathyswamy, 2020; Esposto, Jauregi, Tapia-Blácido, & Martelli-Tosi, 2021), e têm potencial para aumentar sua biodisponibilidade por promover aumento da absorção, especialmente de compostos pouco solúveis em água (Semenova et al., 2021). Podem ser incorporados em laticínios, bebidas, carnes e outras matrizes alimentares, para manter sua estrutura intacta no estômago e liberar o conteúdo a ser absorvido pelo intestino delgado (Liu et al., 2020). Porém, a instabilidade das vesículas e liberação do composto encapsulado durante a digestão ou ao longo do armazenamento pode comprometer sua aplicabilidade (Ramezanzade, Hosseini, & Nikkhah, 2017; Subramani & Ganapathyswamy, 2020; Esposto et al., 2021).

4.2 Nanoemulsões

Nanoemulsões (NE) são dispersões coloidais constituídas por dois líquidos imiscíveis (denominadas bifásicas), com uma fase oleosa e uma fase aquosa, em que um destes líquidos está sob a forma de nanogotículas dispersas na outra fase, contínua e externa. As fases podem ser gotículas de água em óleo (A/O) ou gotículas de óleo em água (O/A) estabilizadas por um surfactante anfifílico (Figura 19).

Figura 19. Estrutura de uma nanoemulsão (O/A ou A/O).



Fonte: Singh et al (2017). Adaptado.

Normalmente, o óleo e os componentes lipofílicos constituem a fase oleosa dispersa como nanogotículas na fase aquosa composta pela água, e outros componentes hidrofílicos, sendo a dispersão denominada NE Óleo-em-Água (O/A), um produto de elevada biocompatibilidade. Desta forma, as NE possuem um potencial importante para encapsular, proteger e liberar de forma controlada os bioativos de característica lipofílica (Jiang, Liao, & Charcosset, 2020; Safaya & Rotliwala, 2020; Kumar, Verma, & Mandal, 2021).

As NE são compostas por óleos, tensoativos (ou surfactantes), e outros aditivos como antioxidantes. Enquanto os óleos estão na composição das NE como solventes da fase dispersa, solubilizando os compostos bioativos, os tensoativos são utilizados para diminuir a tensão interfacial entre as duas fases líquidas imiscíveis. O surfactante desempenha um papel importante na deformação e quebra da gota, evitando a coalescência durante a emulsificação. A distribuição de tamanho das gotículas obtidas depende diretamente das substâncias utilizadas em sua composição e do método de preparação, que pode envolver alta ou baixa energia (Keykhosravy, Khanzadi, Hashemi, & Azizzadeh, 2020; Vater et al., 2020; Pal & Mandal, 2021; Falleh et al., 2021). Métodos de alta energia incluem o uso de equipamentos como microfluidização, homogeneização por alta pressão (HPH) e ultrassom. Os métodos de baixa energia envolvem a temperatura de inversão de fase, composição de inversão de fase, diluição de microemulsão e a emulsificação espontânea, que envolvem a alteração da composição e/ou das condições ambientais da mistura óleo-tensoativo-água de uma forma específica (Choi & Mcclements, 2020).

Ainda que originalmente as NE tenham sido propostas para administração intravenosa em nutrição parenteral, a possibilidade de veiculação de substâncias lipofílicas traz uma grande versatilidade para estes nanossistemas. O fácil escalonamento da produção por métodos como homogeneização em alta pressão, sua segurança toxicológica e o aumento da eficácia dos bioativos são fatores que contribuem para o amplo potencial de utilização

de NE com diferentes finalidades em indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e agroquímica. Por outro lado, os bioativos encapsulados podem ser liberados mais rapidamente, quando comparados com sistemas nanoparticulados (Kumar et al., 2021; Pal & Mandal, 2021; Falleh et al., 2021).

Por fim, diversas propriedades das NE são interessantes para a aplicação alimentícia, como a clareza óptica para uso em bebidas, melhor estabilidade física e miscibilidade com sistemas aquosos, novas propriedades reológicas em comparação com as emulsões convencionais, podendo inclusive ter a viscosidade aumentada de acordo com a aplicação (Chuacharoen & Sabliov, 2019; Molet-Rodríguez, Turmo-Ibarz, Salvia-Trujillo, & Martín-beloso, 2021; Jeon, Yu, Kim, & Park, 2021).

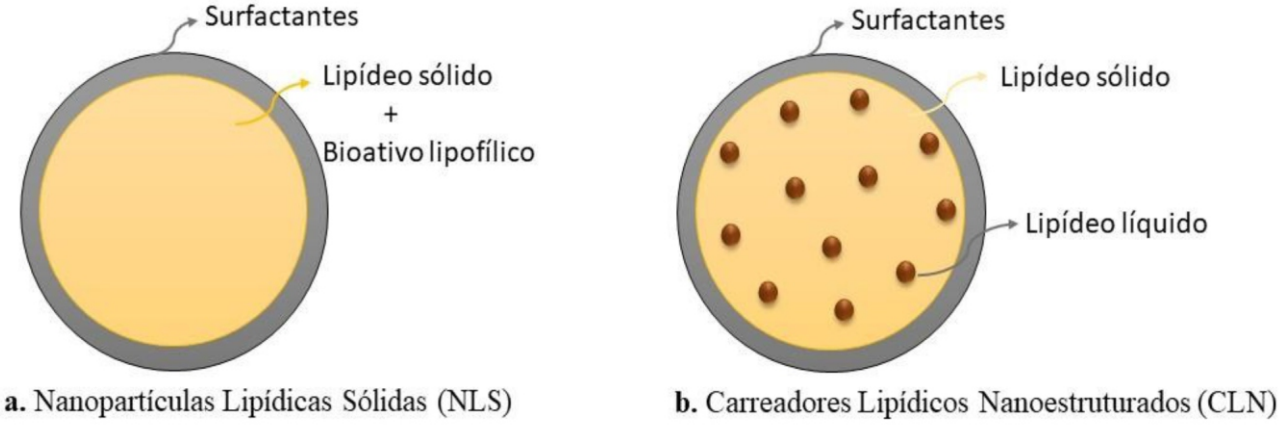
4.3 Nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) e carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN)

As nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) são partículas lipídicas nanométricas, sólidas à temperatura ambiente e corporal. As NLS foram propostas a partir das NE pela substituição do óleo (lipídios líquidos) por lipídios sólidos, sendo preferencialmente utilizados os triglicerídeos, mistura de glicerídeos ou as ceras. Tensoativos diversos são comumente utilizados para a estabilização das nanopartículas, podendo ser iônicos ou não-iônicos, com diferentes pesos moleculares, e a escolha depende especialmente da compatibilidade com a via de administração (Steiner & Bunjes, 2021; Dawoud, Yassin, El-Samawaty, & Elgorban, 2021; Mirchandani, Patravale, & Brijesh 2021; Yaghmur & Mu, 2021; Avilés-Castrillo, Quintanar-Guerrero, Aguilar-Pérez, & Medina, 2021).

A matriz sólida das NLS permite a liberação controlada dos bioativos encapsulados e traz maior estabilidade física e química. Nanocarreadores são normalmente propostos para compostos pouco solúveis em água que apresentam biodisponibilidade limitada, farmacocinética desfavorável e até mesmo alguns efeitos adversos indesejados. A encapsulação dos bioativos no interior da matriz lipídica promove sua proteção em relação à degradação, junto com outras características favoráveis, como a melhora da absorção, farmacocinética modificada, circulação sistêmica prolongada, redução da toxicidade sistêmica, captação celular aumentada, podendo até superar as diversas barreiras biológicas sistêmicas. A superfície da matriz também pode ser modificada com acoplamento de diferentes ligantes, como carboidratos, peptídeos, ou mesmo determinados antígenos, buscando o direcionamento ativo de compostos para tipos específicos de células, como as tumorais e do sistema imune (Steiner & Bunjes, 2021; Dawoud, Yassin, El-Samawaty, & Elgorban, 2021; Mirchandani, Patravale, & Brijesh, 2021; Yaghmur & Mu, 2021; Avilés-Castrillo et al., 2021).

Por outro lado, apesar das diversas possibilidades trazidas pelas NLS, é comum que os compostos encapsulados sejam expulsos da matriz depois de poucos dias, devido às transições polimórficas dos lipídios envolvidos na constituição da matriz, de forma que a estabilidade da encapsulação se torna muito baixa. Assim, os carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN) foram propostos como uma segunda geração em relação às NLS, sendo nanopartículas lipídicas compostas por uma mistura de lipídios sólidos e líquidos (óleos) de diferentes cadeias carbônicas, com tamanhos e insaturações variadas. Esta mistura de lipídios sólidos e líquidos proporciona maior acomodação dos bioativos encapsulados, trazendo ampla melhora na estabilidade da encapsulação, mas mantendo as possibilidades e vantagens das NLS (Carvalho et al., 2019; J. Limeres et al., 2019; Otarola, Molina, Garrido, & Correa, 2021; Gomaa, Fathi, Eissa, & Elsagahy, 2021; Youshia, Kamel, El Shamy, & Mansour, 2021). As Figuras 20a e 20b apresentam, respectivamente, o esquema dos carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN) e das nanopartículas lipídicas sólidas (NLS).

Figura 20. (a) Carreadores lipídicos nanoestruturados (CLN);
(b) Nanopartículas lipídicas sólidas (NLS).



Fonte: Carvalho et al., 2019. Adaptado.

De acordo com método de produção e da composição da mistura de lipídios, podem-se obter os três diferentes tipos de CLN: imperfeitos, amorfos e múltiplos. Os CLN imperfeitos consistem em uma mistura de lipídios sólidos e líquidos de características diferentes, como glicerídeos compostos por ácidos graxos com diferentes tamanhos de cadeia carbônica. A maior distância entre as cadeias carbônicas e a consequente formação de cristais imperfeitos aumenta o espaço para acomodação dos bioativos. Nos CLN amorfos, a mistura de determinados tipos de lipídios faz com que a matriz não se recristalize mais após o resfriamento, formando uma matriz amorfa contendo o composto incorporado. Por

fim, os CLN múltiplos ocorrem quando contém maior quantidade de óleos do que de lipídios sólidos. Neste caso, a solubilidade das moléculas de óleo no lipídio sólido é ultrapassada, levando à formação de nanocompartimentos de óleo dentro da matriz lipídica sólida. Como os bioativos normalmente apresentam maior solubilidade em óleos do que nos lipídios sólidos, eles permanecem encapsulados dentro destes nanocompartimentos (Carvalho et al., 2019; J. Limeres et al., 2019; Otarola et al., 2021; Gomaa et al., 2021; Youshia et al., 2021).

Diversas técnicas para produção de NLS e CLN têm sido descritas na literatura, a maioria delas relacionada com uso ou não de aquecimento (Barroso et al., 2021). Assim, os principais métodos utilizados no preparo destas nanopartículas lipídicas são a homogeneização a quente ou a frio, associadas a homogeneização de alta pressão ou ultrassonicação. Outros métodos também são relatados: microemulsão, emulsificação e evaporação de solvente, injeção de solvente, emulsão múltipla, por contatores de membrana e, mais recentemente, utilizando fluidos supercríticos (Khosa, Reddi, & Saha, 2018; Azar, Pezeshki, Ghanbarzadeh, Hamishehkar, & Mohammadi, 2020).

Ainda que haja poucos estudos até o momento envolvendo a utilização de nanopartículas lipídicas para aplicação alimentar, a possibilidade de utilização de óleos bioativos na composição dos CLN, como os óleos vegetais fixos e os óleos essenciais, traz um grande potencial de utilização deste tipo de nanossistemas na indústria alimentícia (Azar et al., 2020). Assim, ainda é necessário compreender melhor o comportamento das nanopartículas lipídicas dentro das matrizes alimentares complexas, como margarina, maionese, iogurtes, chocolates e bebidas. Se houver processamento térmico do alimento, é crucial que seja determinada a melhor etapa em que as nanopartículas podem ser incorporadas (Santos, Okuro, Sato, & Cunha, 2019; Carvalho et al., 2019; Limeres et al., 2019; Otarola et al., 2021; Gomaa et al., 2021; Youshia et al., 2021).

4.4 Nanocápsulas e nanoesferas

As nanocápsulas e as nanoesferas também são nanopartículas sólidas, cuja matriz é composta por polímeros diversos. As nanocápsulas se caracterizam por apresentar um núcleo líquido oleoso no qual é solubilizado o bioativo, circundado por uma camada única de polímero. As nanoesferas, por outro lado, são partículas esféricas com uma matriz polimérica sólida e maciça, em que o bioativo está molecularmente disperso. Diversos polímeros podem ser utilizados, tanto podendo ser homopolímeros de poliéster, bem como copolímeros, como ácido poliláctico (PLA), poli(ácido lático-co-ácido glicólico) (PLGA), policaprolactona (PCL), polietilenoglicol (PEG), dentre outros. Polímeros naturais também podem ser utilizados, sendo um exemplo comum a quitosana (Letchford & Burt, 2007; Khan, Shaharyar, Fazil, Baboota, & Ali, 2016; Yan et al., 2020; Shoueir et al., 2021).

O método mais comum de produção de nanocápsulas é por meio de deposição interfacial de polímeros pré-formados. Neste processo, o bioativo e a mistura polimérica são solubilizados em solventes orgânicos miscíveis com água (como acetona), podendo conter surfactantes lipofílicos. Em seguida, um óleo miscível com solvente orgânico, porém imiscível com a mistura polimérica, é adicionado à solução orgânica, que é dispersa em uma fase aquosa contendo um surfactante hidrofílico (geralmente um poloxâmero). Mantendo agitação moderada, o solvente se difunde para a fase aquosa e os polímeros se acumulam ao redor das gotículas de óleo. Após a evaporação do solvente, as nanocápsulas são formadas em dispersão aquosa (Letchford & Burt, 2007; Khan et al., 2016; Shoueir et al., 2021).

Em relação às nanoesferas, se as partículas formadas precisam ser polimerizadas, isso pode ser conseguido pelo método de polimerização em emulsão ou por polimerização interfacial, conforme o tipo de polímero a ser formado. Para os polímeros pré-formados, algumas das técnicas utilizadas são: emulsificação e evaporação de solvente, emulsificação e difusão de solvente, e *salting-out*. No entanto, o método mais comumente utilizado é a substituição de solvente, também conhecida como nanoprecipitação. O método consiste em dissolver o polímero em um solvente orgânico que é miscível com água e, em seguida, adicioná-lo à fase aquosa contendo ou não algum surfactante. Depois da adição da fase aquosa, o solvente orgânico imediatamente se difunde levando à precipitação do polímero e formação das nanoesferas (Letchford & Burt, 2007; Yan et al., 2020; Shoueir et al., 2021).

Um processo inovador para obtenção de nanoesferas é por precipitação supercrítica anti-solvente, que utiliza as propriedades físicas e químicas exclusivas dos fluidos supercríticos como alternativa ao uso de solventes orgânicos. As partículas são formadas em uma única etapa e, por todas estas características, é um processo fácil para ser adaptado à química verde. Uma de suas características mais atraentes é a possibilidade de ajustar o tamanho e a forma das partículas no processo sem qualquer necessidade de pós-tratamento das nanopartículas em pó que foram produzidas (Liu et al., 2020).

Devido à superfície hidrofóbica das nanocápsulas e nanoesferas convencionais, elas podem ser facilmente opsonizadas e removidas da circulação sistêmica pelo sistema reticuloendotelial (RES), em órgãos como baço e fígado. Embora seu tamanho nanométrico possa diminuir esta taxa de remoção, a alteração da superfície utilizando grupamentos mais hidrofílicos pode promover o aumento do tempo de permanência na circulação sanguínea, conforme necessário. O revestimento das partículas com surfactantes como poloxamer e Brij pode ajudar a reduzir esta remoção pelo RES em um curto período de tempo, porém pouca diferença é observada em período de tempo mais longo, o que pode ser devido à dessorção do surfactante. A inclusão de cadeias de PEG na superfície do nanocarreador é uma estratégia comumente utilizada para se formar uma barreira hidrofílica superficial que bloqueia a adesão de opsoninas e aumenta o tempo de circulação das nanopartículas (Letchford & Burt, 2007; Khan et al., 2016; Shoueir et al., 2021; Yan et al., 2020).

As possibilidades de encapsulação de bioativos em nanocápsulas e nanoesferas são muito diversas, especialmente em se tratando da proteção de aditivos alimentares, como polifenóis, enzimas, óleos essenciais, nutracêuticos, antimicrobianos e antioxidantes, buscando a vetorização para um local específico e a liberação controlada dos compostos bioativos. Assim, estes nanossistemas oferecem novas alternativas para a incorporação em alimentos processados variados (Shoueir et al., 2021; Yan et al., 2020).

4.5 Complexos de inclusão molecular

As ciclodextrinas (CD) são oligossacarídeos cíclicos compostos por unidades D-(+)-glucopiranose conectadas por ligações *a*-(1,4), organizadas de tal forma que apresentam uma cavidade hidrofóbica interna e a região externa hidrofílica. As CD apresentam uma forma parecida com toro ou de um tronco oco de cone, podendo ser classificadas em *a*-, *β*- e *γ*-CD, se apresentam 6, 7 e 8 unidades de glicose, respectivamente. Como o interior de sua cavidade apresenta caráter hidrofóbico, as CD apresentam a capacidade de incorporar completamente ou parcialmente a parte hidrofóbica de várias moléculas, íons ou radicais, que atuam como moléculas hóspedes. Assim, são formados complexos de inclusão com base em interações intermoleculares do tipo *van der Waals*, interações hidrofóbicas e ligações de hidrogênio. Este processo de formação do complexo é energeticamente favorável e contribui para um aumento da estabilidade, devido a mudanças na entalpia e redução na energia total do sistema. Como o exterior do complexo de inclusão é hidrofílico, as CD são utilizadas primariamente para aumentar a solubilidade aquosa de compostos hidrofóbicos, melhorando o perfil de dissolução, sua absorção oral, tornando a farmacocinética mais favorável e aumentando biodisponibilidade da molécula incorporada (Duchêne & Bochot, 2016; Jansook, Ogawa, & Loftsson, 2018; Saokham, Muankaew, Jasook, & Loftsson, 2018).

Diversos derivados das CD podem ser produzidos a partir de modificações químicas nos grupos hidroxila primários e secundários existentes em sua estrutura e, assim, realizando ligações com diversos grupos funcionais. Além das CD neutras, podem ser produzidas CD carregadas positiva e negativamente, bem como derivados metilados, etilados, hidroxialquilados, acilados, ramificados, tanto mais hidrofílicos como mais hidrofóbicos, com aplicações diversas. A formação de complexos de inclusão entre CDs e moléculas hóspedes também é estereosseletiva, portanto, a CD e seus derivados também podem ser utilizados para reconhecimento e separação quirais de compostos enantioméricos (Dodero, Schlatter, Hébraud, Vicini, & Castellano, 2021).

Em vários países, as CD são consideradas em termos regulatórios como um amido modificado enzimaticamente, de forma que sua utilização em produtos alimentícios industriais é bastante favorecida. As CD apresentam aprovação como GRAS (*generally*

recognized as safe) pelo FDA nos Estados Unidos e existem especificações da máxima concentração percentual de CD permitida para diversos tipo de alimento. Assim, as CD têm sido utilizadas em complexos com lipídios da dieta (triglicerídeos, ácidos graxos saturados e insaturados, esteróis como o colesterol e fitosteróis) e com diversos bioativos nutracêuticos, como vitaminas, minerais, fibras, aminoácidos, antioxidantes (flavonoides, carotenoides, polifenóis). Algumas CD não são digeridas no trato gastrointestinal, mas conseguem ser fermentadas pela microflora intestinal. Assim, podem ser consideradas também como fibras alimentares solúveis e fermentáveis e até mesmo como prebióticos, pois existem relatos de que algumas CD podem apoiar o crescimento e a atividade de bactérias no intestino grosso, como os *Lactobacillus casei*. Por fim, ainda há a possibilidade de complexação entre bioativos com as CD e posterior incorporação em nanocápsulas, nanoesferas e outras nanopartículas, associando suas vantagens com as várias características favoráveis obtidas após a encapsulação (Duchêne & Bochot, 2016; Fenyvesi, Vikmon, & Szente, 2016).

5. MÉTODOS EMPREGADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE NANO E MICROPARTÍCULAS

5.1 Tamanho de partícula e distribuição de tamanho

Tratando-se de sistemas micro e nanoestruturados, a determinação do tamanho médio e a distribuição de tamanho das partículas é muito importante para a produção e processamento da partícula devido a avaliação nas características estruturais que interferem o comportamento do material (Souza et al., 2020).

Para que se possa escolher a melhor técnica de determinação de tamanho, é importante levar-se em conta alguns fatores significativos, como a natureza da amostra, a natureza do processo e a precisão da técnica escolhida (Ruppel, Ribeiro, Zander, & Bombarda, 2018). As técnicas de determinação podem ser classificadas em dois grupos, sendo com e sem fracionamento da amostra onde, as técnicas com fracionamento apresentam partículas que são removidas da amostra por faixas de tamanho, de maneira que haja a distribuição de tamanho de partículas, obtida depois de sucessivas etapas de separação. Já nas

técnicas sem fracionamento não é aplicado nenhum mecanismo de separação e as respostas às frações de tamanho presentes na amostra são determinadas por uma única medição (Cardoso, Pereira, Tappin, & Behrens, 2017).

Uma abordagem muito utilizada para medição de tamanho é a partir de microscopias, técnicas utilizadas para avaliação morfológica das partículas. A partir das imagens obtidas e de softwares de processamento de imagens, é possível determinar o diâmetro conforme a magnitude da imagem (Burgain et al., 2017).

Outra técnica comumente utilizada é a de espalhamento dinâmico da luz ou espectroscopia por correlação de fótons. Esta técnica é utilizada para a análise de partículas em suspensão, levando em consideração que quando uma partícula é iluminada por uma fonte de luz, ela espalha esta luz em todas as direções, sendo possível analisar as flutuações da intensidade em um determinado ângulo (Dinisb, Guimarães, & Matteucci, 2017). Porém, esta técnica determina o diâmetro hidrodinâmico, ou seja, levando em consideração a movimentação de uma esfera equivalente, de mesmo coeficiente de difusão translacional do material. No caso de nanopartículas não-esféricas, este diâmetro obtido pode não refletir todas as dimensões deste tipo de material (Schmidt et al., 2021).

5.2 Potencial Zeta

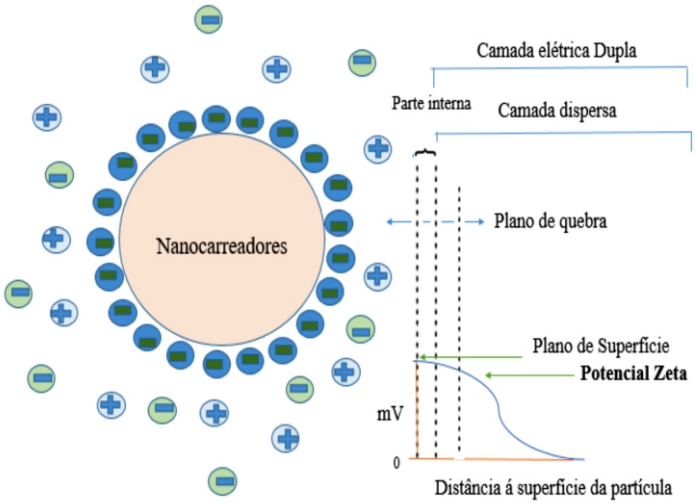
O potencial zeta pode ser definido como o potencial elétrico obtido no plano de quebra ou cisalhamento, ou seja, a interface que separa o fluido que circunda a partícula e o fluido móvel, levando em conta a interação das partículas com os íons circundantes. O principal objetivo desta análise é obter uma estimativa das interações eletrostáticas entre as partículas, sendo um valor importante para ser considerado no processo de otimização das formulações (Valério et al., 2020).

Dada a simplicidade e reprodutibilidade desta técnica, ela é utilizada rotineiramente para se obter inferências sobre a carga superficial das partículas, para avaliar e comparar a natureza da superfície e interações entre partículas coloidais, em muitos campos de aplicação. Entretanto, sua maior aplicação é na avaliação do comportamento eletrostático das partículas e sua estabilidade, como a tendência à agregação e coagulação ou tendência à repulsão (Bhattacharjee, 2016).

As medidas de potencial zeta levam em consideração as interações entre o sistema e o meio dispersante, de forma que a aproximação e a interação das partículas com os íons presentes no meio aquoso têm direta influência no potencial zeta, sendo essencial a padronização do diluente (Moreira & Pesenti, 2018). A carga superficial promove a atração de íons ao redor da

partícula, proporcionalmente conforme o valor da carga superficial, o que confere uma camada elétrica dupla composta por íons que se encontram fortemente aderidos à superfície da partícula e seus contra-íons (Gontijo et al., 2020). A Figura 21 ilustra o esquema da concentração iônica e a diferença de potencial em função da distância da superfície carregada de uma partícula suspensa em um meio de dispersão. A partir da aplicação de uma diferença de potencial, a movimentação das partículas com esta dupla camada elétrica leva à formação do plano de cisalhamento, gerando as medidas de potencial zeta.

Figura 21. Esquema da concentração iônica e a diferença de potencial em função da distância da superfície carregada de uma partícula suspensa em um meio de dispersão.



Fonte: Albuquerque, Peçanha, Simão, Filho & Monte, (2021). Adaptado.

Desta forma, o potencial zeta pode ser medido através da aplicação de um campo elétrico na dispersão de partículas e da mobilidade eletroforética (Santos et al., 2021). As partículas migram para o eletrodo com carga oposta à sua carga, com uma velocidade proporcional ao valor do potencial zeta. Essa velocidade pode ser medida através de técnicas de dispersão de luz, levando em conta o *efeito Doppler* (Arcochas-Torres et al., 2020). Assim, o potencial zeta é um indicador importante e útil utilizado para prever a estabilidade eletrostática de suspensões e emulsões, bem como para micro e nanopartículas diversas.

5.3 Morfologia

A morfologia é empregada para avaliar a estrutura das nano e micropartículas da qual pode variar em função do método, carreadores/material de parede, ou ainda pela aplicação final das partículas (Gomes et al., 2020). A indústria de alimentos bem como pesquisas na área de encapsulação dispõe de alguns métodos de análise, tamanho e forma das partículas para normalização e qualidade do produto encapsulado.

Entre as diversas técnicas que determinam o tamanho/diâmetro e descrevem a morfologia de partículas dispõe-se da microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (MET), microscopia óptica de fluorescência (MOF), microscopia óptica (MO) e microscopia confocal (MC).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) baseia-se na relação entre elétrons e matéria, sendo realizada por meio de um microscópio eletrônico que apresenta um feixe de elétrons que é descarregado na amostra promovendo uma varredura na sua superfície, ou seja, ocorre por meio da irradiação da superfície da amostra (Ruppel et al., 2018). Por meio do aparelho é possível identificar a energia dos elétrons que é expressa pelo equipamento em imagens, tanto através dos elétrons secundários quanto dos elétrons retroespalhados (Lopes, Santos, Lima, & Holz, 2020).

Assim como a análise MEV, a microscopia eletrônica de transmissão (MET) também ocorre por meio de um feixe de elétrons que é transmitido por meio de uma suspensão fina, sobre a amostra tendo as imagens como resultados (Cognette & Pereira, 2017). A diferença da utilização de ambas as técnicas se baseia em como será feito a análise; a MET é mais utilizada para analisar detalhes mais finos de uma estrutura (Galetti, 2003), enquanto a MEV analisa a superfície da amostra (Salussoglia, Guerra, & Aguiar, 2021).

A microscopia de fluorescência (MF) é um dos métodos físicos que permite a análise de moléculas especialmente biológicas devido a sua alta sensibilidade e especificidade, e que apresentam fluorescência quando submetidas a radiação excitante. A fluorescência é a propriedade que algumas substâncias possuem, após serem excitadas com radiação de baixo comprimento de onda, que resultam na emissão de radiação de maior comprimento de onda. Assim, determinadas substâncias absorvem a energia da luz ultravioleta e emitem depois radiação dentro do espectro de luz visível na qual ocorre a formação da imagem (Ormachea & Villazón, 2017).

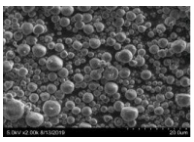
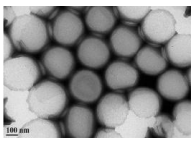
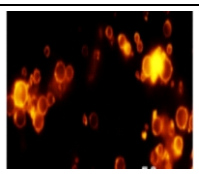
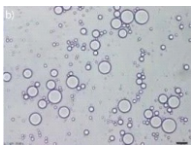
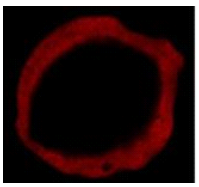
A Microscopia Óptica (MO) é uma técnica largamente empregada a qual permite o aumento de imagens através da luz que, após incidir sobre a amostra, passa por um conjunto de lentes objetivas e oculares que foram e aumentam a imagem. Através desta técnica, é possível visualizar a microestrutura de partículas pela aplicação de um contraste, por meio da ampliação da lente, sendo o resultado a análise da diferença da refletividade da luz nas regiões de microestrutura (Sousa Júnior, Araújo, Pinto, & Nagashima Junior, 2021). A MO possui algumas vantagens a começar pela capacidade de visualizar micro a nanopartículas *in situ*, em tempo real com alta resolução temporal (até 1 kHz) e espacial (até < 20 nm), o que está perfeitamente adaptado para observação precisa da estrutura de partículas, ou alterações composicionais que apresentem movimentos discretos (Noël & Lemineur, 2021). Entretanto, este método apresenta a limitação em relação ao aumento máximo da lente que pode prejudicar a visualização de pequenos detalhes estruturais, das quais são detectadas somente através de microscopias com maior resolução.

A microscopia confocal (MC) fundamenta-se a partir da avaliação da parte interna das micropartículas de modo que não haja a destruição da estrutura permitindo a visualização

do material no interior da partícula (Zárate-Hernández, Hernández-Esquivel, & Pérez, 2021). Utiliza-se um raio laser focalizado a uma profundidade específica dentro de uma amostra, e toda a luz é detectada por um microscópio corretamente posicionado.

A Tabela 3 apresenta algumas micrografias obtidas através de métodos comumente empregados na caracterização morfológica e dimensão de partículas.

Tabela 3. Exemplos de micrografias obtidas por diferentes métodos empregados para caracterização morfológica e tamanho de emulsões e micropartículas.

Análise	Amostra/Método	Micrografia	Referências
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	Micropartículas de tangeretina/*Spray dryer*.		Sun, Cameron, Manthey, Hunter, & Bai (2020).
Microscopia eletrônica de transmissão (MET)	Nanoemulsões de vitamina D/ Processador Ultrassônico.		Walia, Dasgupta, Ranjan, Chen, & Ramalingam (2017).
Microscopia de fluorescência (MF)	Micropartículas de vitaminas A; D; E/Processador Ultrassônico.		Zhu, Mettu, Cavalieri, & Ashokkumar (2021).
Microscopia óptica (MO)	Emulsão de óleo de algas/*Spray dryer*.		Shao, Pan, Liu, Teng, & Yuan (2018).
Microscopia confocal (MC)	Micropartículas de ácido docosahexaenóico de cadeia longa (DHA) contendo óleo de peixe/*Spray dryer*.		Wang, Y., Liu, W., Chen, X.D., Selomulya, C. (2016).

5.4 Umidade, higroscopicidade e solubilidade

A nano ou micropartícula é composta por um conjunto de interstícios existindo entre si vazios que podem estar parcialmente ou totalmente compostos por água (Lopes, Santos, Lima & Holtz, 2020). Este elemento é considerado o responsável por influenciar fatores como a qualidade, a vida útil e a deterioração dos alimentos (Alexandre, Figueiredo, & Queiroz, 2007). Portanto, quando se trata de micropartículas com aplicação alimentícia, propriedades como atividade de água, umidade, solubilidade, molhabilidade, entre outras, são necessárias de serem investigadas (Fernandes, Borges, & Botrel, 2014; Lim Y Nyam, 2016; Mazunder & Ranganathan, 2020; Sun, Camerom, Manthey, Hunter, & Bai, 2020).

A água presente no alimento encontra-se disposta nas formas livre e combinada. A água combinada está associada quimicamente a outras substâncias, sendo de difícil eliminação. A água livre, também denominada atividade de água, por sua vez, ocorre livremente no alimento, o que favorece o crescimento de microrganismos e reações que podem alterar o alimento, e é determinada através de um medidor de atividade de água, cujo valor varia entre 0 e 1 (Embrapa, 2010).

A umidade é um parâmetro que permite inferir a estabilidade das partículas (Botrel et al., 2017). Para essa propriedade valores de umidade de 5% ou inferior são considerados valores ótimos para reduzir a oxidação de lípidios e a contaminação microbiana (Sun et al., 2020).

A solubilidade é uma propriedade de reconstituição (Campelo-Félix et al., 2017). Segundo Vissotto, Montenegro, Santos e Oliveira (2006), a solubilidade está relacionada à capacidade das partículas de manterem uma mistura homogênea com a água, produzindo, portanto, uma mistura estável.

Partículas higroscópicas absorvem ativamente a umidade do ar circundante, e a molhabilidade desempenha um papel importante sobre a superfície das nano e micropartículas (Costa et al. 2015), as quais podem ser melhoradas por meio da funcionalização da área superficial através dos diversos métodos de encapsulação, já visto neste capítulo.

A molhabilidade, também conhecida como umectabilidade, é outra propriedade de reconstituição (Campelo-Félix et al., 2017). Consiste na determinação da susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água (Vissotto et al., 2006), sendo influenciada por fatores como tamanho da partícula, densidade, porosidade, carga da superfície da partícula (Tatar, Tunc, Dervisoglu, Cekmecelioglu, & Kahyaoglu, 2014), tamanho e formato da partícula, além da temperatura da água de reconstituição (Vissotto et al., 2006).

5.5 Estabilidade

Um dos métodos de avaliação do efeito da microencapsulação é com relação a sua estabilidade. A estabilidade das micro e nanopartículas determina a proteção do ativo de desafios ambientais, como umidade, temperatura ou oxigênio, e de potenciais interações com outros componentes alimentares. A modelagem adequada das condições ambientais é importante na previsão da estabilidade com base em medições de laboratório Çam et al. (2014).

A estabilidade do encapsulamento varia de produto a produto, com foco no composto bioativo ou substância de interesse, onde é determinado após o processo de encapsulação e ao fim da avaliação nas condições pré-determinadas do conteúdo total deste componente de interesse, onde é mensurado a quantidade de material perdido e quanto foi retido entre

os períodos citados acima, permitindo verificar a estabilidade das micro e nanopartículas frente as condições aplicadas (Xue, Su, Meng, & Guo, 2019; Maia et al., 2020).

A estabilidade de armazenamento de micro e nanopartículas é avaliada em um período pré-determinado estudando a porcentagem do composto bioativo de interesse retido, sobre condições controladas de temperatura e umidade, além da proteção contra a luz. Esta estabilidade ao armazenamento, consiste em armazenar as microcápsulas do composto de interesse, em embalagens pré-definidas (normalmente frascos de vidro âmbar), para proteção da luz, em uma temperatura ou faixas de temperatura pré-determinadas. Çam et al. (2014), avaliaram a estabilidade de micropartículas de fenólicos de casca de romã, sob armazenamento a 4°C por 90 dias, avaliando em períodos pré-determinados a quantidade de fenólicos totais presente nas micropartículas, onde o processo de microencapsulação demonstrou-se ser eficaz na retenção dos respectivos compostos. Sánchez, Zavaleta, García, Solano, & Díaz (2021) trabalharam com óleo de Krull, sobre condições de umidade pré-determinadas por 35 dias a 35°C, avaliando os compostos bioativos de interesse e a cor em períodos de tempos escalonados, onde foi a efetividade da microencapsulação na sua proteção e retenção.

Outra forma de avaliar a estabilidade de micro e nanopartículas situa-se na estabilidade oxidativa, que é normalmente aplicada principalmente a óleos e corantes naturais. Este tipo de avaliação de estabilidade consiste em submeter as micro e nanopartículas ao aquecimento, sobre um fluxo de ar pré-determinado e posterior mensuração de compostos como ácidos graxos antes e após o respectivo processo (Santos et al., 2021). Aqueles autores avaliaram a estabilidade oxidativa do óleo não encapsulado e encapsulado de tucumã, sobre o aquecimento a 120 °C sob um fluxo de ar de 20 L/h e posterior avaliação do conteúdo de ácidos graxos e seus componentes, onde o encapsulamento demonstrou maior efetividade na preservação e estabilidade térmica destes compostos.

A estabilidade à luz de micropartículas também pode ser avaliada em conjunto com as demais expostas anteriormente ou individualizada (Zhang et al., 2020). Este método consiste em utilizar o composto bioativo de interesse não encapsulado e uma quantidade apropriada de micropartículas, sobre exposição à luz do dia por um período de tempo pré-determinado (normalmente 30-40 dias), em embalagens como frascos de vidro fechados, com um tempo médio de exposição à luz de 12 h/dia, e a retenção percentual do composto de interesse (a proporção do conteúdo do composto de interesse retido em relação ao original na amostra) é medido em períodos de tempo pré-determinados (a cada 4-5 dias) (Zhang et al., 2020; Balakrishnan et al., 2021). A porcentagem do composto de interesse pode ser calculada usando a Equação 1:

$$\text{CB retenção } \% = \frac{\text{CB retido}}{\text{CB inicial}} \text{ x } 100 \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde o CB, corresponde ao composto bioativo de interesse.

A estabilidade ao calor das microcápsulas pode ser avaliada seguindo o método descrito por Wang, Lu, Lv, & Bie (2009). Este método consiste em utilizar o composto bioativo de interesse encapsulado e dissolvê-lo, em água (sobre proporções pré-definidas), em soluções de 10 ml, com posterior aquecimento em condições de temperatura variadas, por um período de aproximadamente 15 minutos. Após o processo de aquecimento é realizado a absorbância espectrofotométrica das soluções, em faixa pré-determinada (varia de acordo com o composto de interesse). Posteriormente, é realizado o cálculo da quantidade inicial do composto bioativo de interesse presente nas microcápsulas e a percentagem de retenção nas soluções de microcápsula após aquecimento (podendo ser calculada pela mesma Equação 1) (Balakrishnan et al., 2021).

5.6 Eficiência de encapsulamento

Segundo Castejón, Luna, & Señoráns (2021), um dos maiores requisitos para um sistema eficaz de microencapsulação de macro e micronutrientes ou nutracêuticos é uma eficiência de encapsulamento aceitável, que é uma medida de quão bem as microcápsulas separam o núcleo do ambiente.

A eficiência da microencapsulação pode ser definida como a proporção do material do núcleo nas microcápsulas obtidas ao final do processo de encapsulação, em relação à emulsão original (Zilberboim, Kopelman, & Talmon, 1986), e pode ser calculada de acordo com a equação (2), conforme descrito por Quispe-Condori, Saldaña, & Temelli (2011).

$$\mathrm{EM}\ (\%) = \frac{\mathrm{CT}-\mathrm{CS}}{\mathrm{CT}} \mathrm{x}100 \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: CT é a concentração total do composto bioativo de interesse nas micropartículas e CS é a concentração do composto bioativo na superfície das micropartículas.

Existem inúmeros estudos na literatura que envolvem o uso de métodos para quantificar a eficiência de encapsulamento para vários sistemas de entrega. A concentração do composto bioativo de interesse total e livre para o cálculo da eficiência de encapsulação apresenta diferentes metodologias, dado que as mesmas trabalham com diferentes compostos, com variadas estruturas químicas, mas que normalmente consistem em dissolver as micropartículas em uma solução de extração pré-determinada (como metanol), seguido por sonicação para quebrar as microcápsulas e posterior realização de centrifugação e absorção em espectrofotômetro em comprimento de onda visível. Zhang et al. (2020) avaliaram a eficiência de encapsulamento em microcápsulas de antocianinas extraídas da casca da uva secas por pulverização, que apresentou uma eficiência de 75,12% sendo considerada satisfatória.

5.7 Biodisponibilidade de componentes bioativos nano e microencapsulados

Uma série de sistemas de entrega foram projetados para os alimentos, suplementos e nutracêuticos, no controle da digestão, liberação e absorção de compostos bioativos essenciais para funções no corpo. No entanto, a incorporação de bioativos nos alimentos é um desafio e sua absorção pelo corpo humano é normalmente limitado devido à fraca estabilidade química, baixa solubilidade em água, ou baixa biodisponibilidade (Jones, Caballero, & Davidov-Pardo, 2019; Rodríguez-Roque et al., 2021). Para que o corpo utilize um bioativo específico, o composto deve ser liberado da matriz alimentar e absorvido através da camada epitelial no trato gastrointestinal.

Em geral, a biodisponibilidade de compostos bioativos ou substâncias de interesse, incluem sua digestão gastrointestinal, absorção, metabolismo, distribuição nos tecidos, além da bioatividade, que pode ser definida do ponto de vista nutricional, como à fração do nutriente que é armazenada ou está disponível nas funções fisiológicas (Jones et al., 2019). Entre os fatores que determinam a biodisponibilidade de compostos bioativos micro e nanoencapsulados é a bioacessibilidade, frequentemente definida como a fração de um composto que é liberado da matriz alimentar e está disponível para assimilação no intestino após o processo digestivo (Thakur et al., 2020; Araújo et al., 2021).

A bioacessibilidade é o primeiro passo para tornar-se um nutriente biodisponível. Ao ser ingerido o composto encapsulado deve apresentar resistência e estabilidade a diferentes condições, até chegar no local de liberação desejado, normalmente o foco é o intestino delgado, por ser caracterizado como o principal local de absorção de nutrientes. Ao chegar no local de liberação de interesse o nutriente é liberado das micro ou nanopartículas e transformado em uma forma química que pode se ligar e entrar nas células intestinais ou passar entre eles. Mastigação, digestão enzimática da comida na boca, mistura com ácido e enzimas no suco gástrico, e liberação no intestino delgado são as operações unitárias do processo pelo qual os nutrientes se tornam bioacessíveis (Rodríguez-Roque et al., 2021; Araújo et al., 2021).

A bioacessibilidade dos compostos encapsulados é influenciada por diversos fatores como sua complexidade química, a liberação desses compostos e sua interação com outros componentes da matriz alimentar como fibras, proteínas e lipídios. Além disso, as enzimas hidrolíticas e o pH do trato gastrointestinal também têm influência na sua bioacessibilidade (González-Aguilar, Blancas-Benítez, & Sáyago-Ayerdi, 2017; Araújo et al., 2021). Recentemente, muitos métodos foram propostos para determinar a bioacessibilidade de compostos bioativos e nutracêuticos, incluindo estudos in vitro de digestão e diálise (Thakur et al., 2020; Araújo et al., 2021).

Os modelos de digestão *in vitro* são mais comumente usados para determinar a bioacessibilidade de compostos bioativos, já que os estudos in vivo envolvem mais custo, tempo e apresentam restrições éticas e dificuldades na interpretação dos dados. Os métodos in vitro são baratos, rápidos, e não representam preocupações éticas relativas aos ensaios clínicos e simulam a condição no trato gastrointestinal e cólon (Rodríguez-Roque et al., 2021; Araújo et al., 2021).

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de avaliar a biodisponibilidade/bioacessibilidade de compostos micro e nanoencapsulados, para determinar se o composto encapsulado é absorvido da maneira correta e proveitosa pelo corpo. Na Tabela 4 são apresentados alguns trabalhos a respeito da bioacessibilidade e biodisponibilidade de compostos nano e microencapsulados.

Tabela 4. Exemplos de compostos nano e microencapsulados sobre ensaios de bioacessibilidade.

Material encapsulado	Método de encapsulação	Método de	Bioacessibilidade (%)	Referência
Extrato de chá verde (*Camellia sinensis var assamica*)	*Spray-dryer*	Digestão *in vitro*	28,2	Silva *et al.* (2021).
Óleo de krill	*Spray-dryer*	Digestão *in vitro*	44,6	Sánchez *et al.* (2021).
Óleo de semente de romã	*Spray-dryer*	Digestão *in vitro*	49,8	Cortez-Trejo, Wall-Medrano, Gaytán-Martínez, & Mendoza (2021).
Antocianinas extraídas da casca da uva	Liofilização	Digestão *in vitro*	70,0	Zhang et al. (2020).
Curcumina	*Electrospraying*	Digestão *in vitro*	5,4	Gómez-Mascaraque, Sipoli, La Torre, & López-Rubio (2017).
Ácidos graxos ômega -3	*Spray-dryer*	Digestão *in vitro*	69,9	Joyce, Gustafsson, & Prestidge (2018).
Óleo de semente de Kenaf	Nanoemulsões (Homogeneizador a alta pressão)	Digestão *in vitro*	78,3	Cheong, Tan, & Nyam (2016)

6. NANO E MICROENCAPSULAÇÃO EM SISTEMAS ALIMENTARES: PERSPECTIVAS INDUSTRIAIS E APLICAÇÕES NO MERCADO DE ALIMENTOS

Sabores e aromas são moléculas orgânicas de baixo peso molecular, caracterizadas por serem compostos voláteis e muito sensíveis a fatores externos como ar, calor, luz e umidade (Bakry et al., 2016; Saifullah, Shishir, Ferdowsi, Rahman, & Van Vuong, 2019), e uma das estratégias para proteção e liberação no local desejado é a tecnologia de micro e nanoencapsulação (Assadpour & Jafari, 2019; Jafari et al., 2021).

Em produtos alimentícios processados sabe-se que a degradação do sabor e aroma ocorre durante o processamento e armazenamento do produto e, para reduzir o nível de degradação e preservar a originalidade de tais compostos, os ingredientes voláteis encapsulados podem ser aplicados em alimentos e bebidas (Kaderides & Goula, 2019).

Assim, na indústria de alimentos, o encapsulamento tem sido adotado para preservação especialmente às indústrias de aromas e, conforme as diversas técnicas de encapsulação, o material obtido pode ser em pó, pasta ou líquido (Jafari et al., 2008; Saifullah et al., 2019).

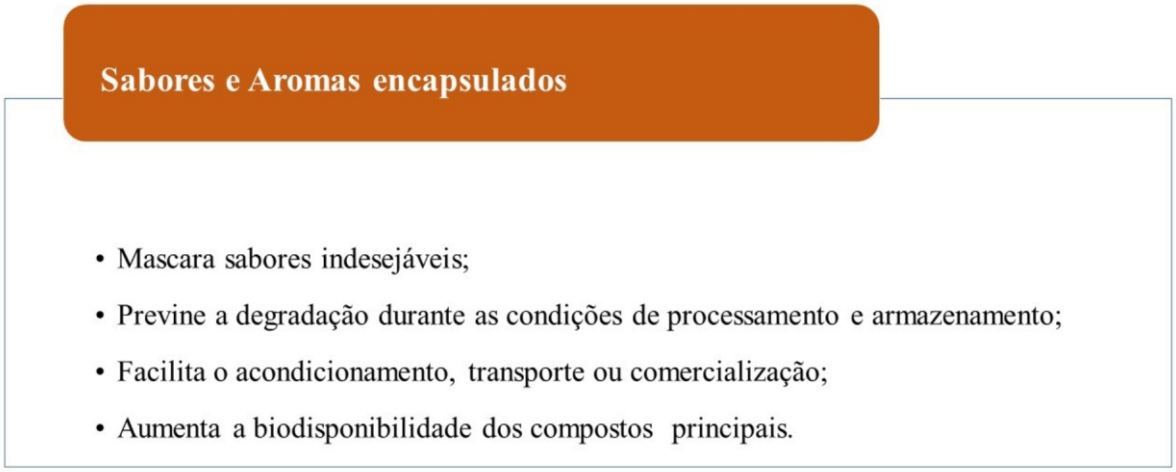
Nos últimos anos diversas técnicas de encapsulação foram relatadas como promissoras para a encapsulação de compostos saborizantes e aromatizantes. Estas técnicas, sob a forma de microcápsulas, microemulsões, nanoemulsões, nanocápsulas, nanopartículas lipídicas e complexo de inclusão oferecem inúmeras aplicações e vantagens (Fuciños et al., 2017; Hussein et al., 2017; Rodenak, Kladniew, Islan, Bravo, Durán, & castro, 2017; Saberi et al., 2017; Zhang, Jung, & Zhao, 2016; Saifullah et al., 2019).

6.1 Papel da nano e microencapsulação para os compostos de sabor e aroma

O sabor de um alimento é um de seus principais atributos sensoriais, sendo que a combinação do sabor e aroma podem estar presentes de forma inerente ou pela adição durante o processamento. Sua estabilidade em um nível considerado ideal ou aceitável é uma grande preocupação para a indústria alimentícia devido à forte relação com a qualidade e aceitabilidade dos alimentos pelos consumidores, sendo parâmetros de difícil controle (Junxia, Hai-yan, & Jian, 2011; Bakry et al., 2016; Rodríguez, Martín, Ruiz, & Clares, 2016).

Devido a volatilidade dos sabores, eles estão propensos a perdas durante as etapas de fabricação, transporte e armazenamento. Além disso, são muito suscetíveis a mudanças de pH, umidade, ácido, sal e enzimas, que podem produzir sabores estranhos e desagradáveis (Souza Simões et al., 2017; Feng et al., 2018; Fuciños et al., 2017; Saifullah et al., 2019). Para aumentar sua disponibilidade e limitar sua degradação, as técnicas de encapsulamento são consideradas abordagens mais eficazes e utilizadas (Khoshakhlagh, Koocheki, Mohebbi, & Allafchian, 2017; Sanchez-Reinoso, Osorio, & Herrera, 2017; Saifullah et al., 2019). As vantagens de encapsular sabores e aroma estão apresentadas na Figura 22.

Figura 22. Vantagens associadas a encapsulação de sabores e aromas.

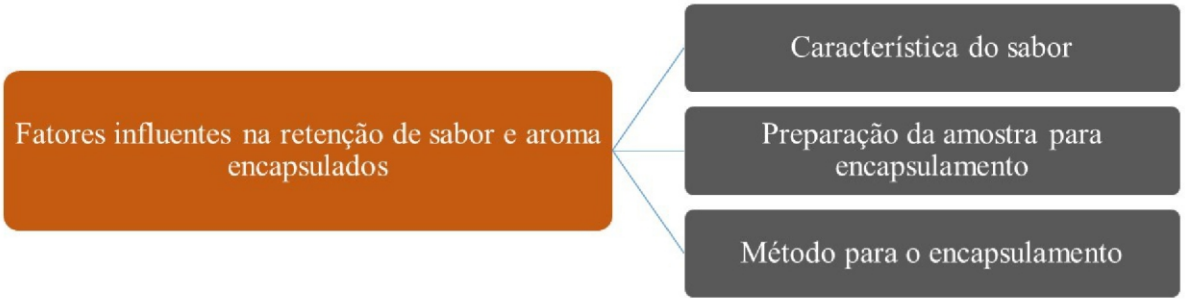


Fonte: Saifullah et al., 2019. Adaptado.

6.2 Fatores que afetam a retenção de sabor e aroma durante o encapsulamento

A retenção de sabores e aromas durante o processamento em produtos processados é uma grande preocupação na indústria de alimentos, ocasionados pela representação que ambos os aspectos têm nas características e qualidade de um produto alimentício. Logo, requerem maior atenção durante esta etapa, dada sua alta susceptibilidade à degradação e/ou perda para fatores externos ou na presença de certos outros componentes da matriz alimentícia. As técnicas de encapsulamento promovem a proteção do sabor e aroma da maioria desses fatores, (Perez & Gaonkar, 2014), contudo sua retenção durante este processo depende de sua estabilidade dentro das micro e nanocápsulas (Perez & Gaonkar, 2014; Ozdal, Yolci-Omeroglu, & Tamer, 2020). A Figura 23 representa os fatores que afetam a retenção do sabor durante o encapsulamento.

Figura 23. Fatores influentes na retenção de aromas na encapsulação.

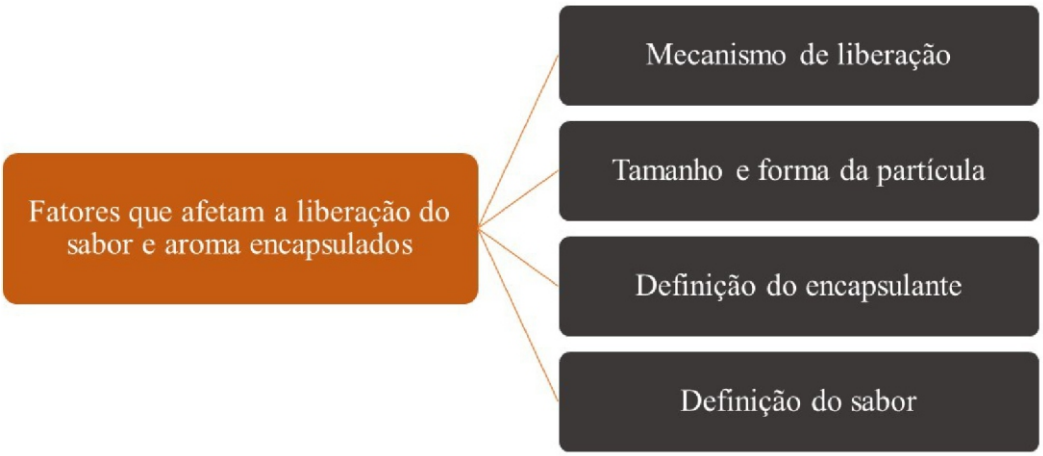


Fonte: Perez & Gaonkar, 2014; Ozdal, Yolci-Omeroglu, & Tamer, (2020).

6.3 Fatores que afetam a liberação de sabores e mecanismos de liberação

A liberação ou taxa de liberação de sabores e aromas pode ser definida como a migração de moléculas de um ambiente ou estado para outro ambiente ou estado durante um determinado período. Esta taxa de liberação de compostos de sabor e aroma é considerada um parâmetro muito importante para produtos alimentícios e inclui os sabores voláteis misturados às moléculas de ar, sendo alguns liberados na cavidade bucal durante a mastigação dos alimentos (Laing & Jinks, 1996; Perez & Gaonkar, 2014; Saifullah et al., 2019; Ozdal et al., 2020). Existem vários fatores que influenciam a liberação de compostos de sabor e aroma, sendo os fatores mais importantes envolvidos na liberação de sabor, ilustrados na Figura 24.

Figura 24. Fatores que afetam a liberação de sabores.



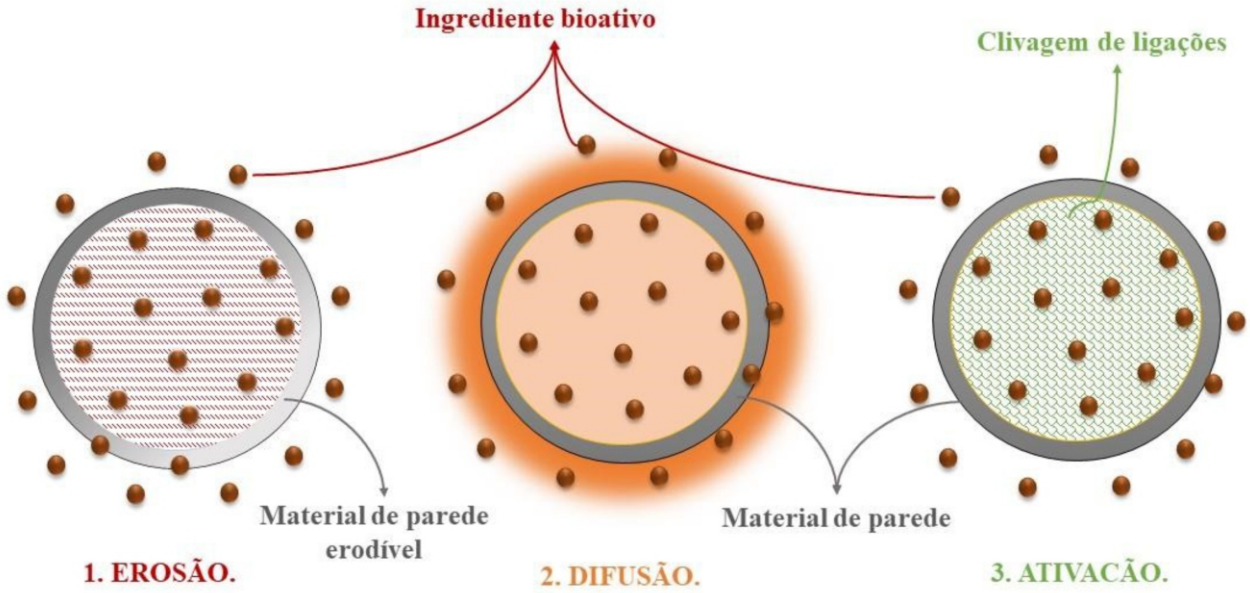
Fonte: Ozdal et al., (2020). Adaptado.

Os sistemas de liberação controlada constituem no transporte de ingredientes bioativos de seu estado primário ao sistema de entrega, sendo capazes de fornecer ao local de ação certa quantidade de uma substância biologicamente ativa, visando efeitos, controlando a taxa de liberação e o tempo de liberação (Boostani & Jafari, 2020).

O objetivo principal dos sistemas de liberação controlada é manter uma concentração constante do ingrediente biologicamente ativo, que deve ter a concentração desejada (que está entre a concentração efetiva mínima e a concentração tóxica mínima) por um tempo estabelecido (Boostani & Jafari S. M., 2021).

Abordagens relativamente diferentes são aplicadas para descrever o "mecanismo de liberação" do ingrediente ativo, e alguns mecanismos de liberação comuns são apresentados na Figura 26.

Figura 26. Mecanismos de liberação para ingredientes alimentícios encapsulados.



Fonte: Boostani & Jafari S. M. (2021). Adaptado.

6.3.2 Liberação ativada por degradação/erosão

Neste mecanismo, os polímeros são transformados em pequenas e solúveis moléculas pela clivagem de suas cadeias e, durante este processo de degradação ocorre a liberação do ingrediente bioativo. Este mecanismo é o que está relacionado à definição de biodegradável, onde a taxa de liberação é dependente do material de parede escolhido. O mecanismo de erosão pode ser classificado em dois grupos: (i), erosão superficial, em que a degradação aparece apenas na parte externa do portador. (ii), erosão em massa, na qual a degradação ocorre em todo o transportador (McClements, 2014).

6.3.3 Liberação controlada por difusão

A difusão controlada pode ocorrer a partir de um sistema reservatório, em que o ingrediente bioatvio fica envolto por um filme polimérico, ou pela distribuição uniforme do ingrediente em uma matriz que se difunde lentamente através de um gradiente de concentração (Pereira et al., 2018). Se a concentração externa do sistema for constante e não saturada, haverá um diferencial fixo de concentração entre o interior e o exterior. Desse modo, uma taxa constante de difusão K do ingrediente ocorrerá no sistema, onde K é uma constante que variará com a geometria do dispositivo e a composição do polímero a partir do qual foi feito (Rodríguez, Martín, Ruiz, & Clares, 2016).

6.3.4 Ativação por solvente

Um terceiro tipo de mecanismo envolve o processo de ativação por solvente. Neste caso as cadeias poliméricas são quebradas pela clivagem de suas ligações intermoleculares, de modo que durante essa degradação ocorre a liberação do ingrediente bioativo (Fredenberg, Wahlgren, Reslow, & Axelsson 2011). A liberação do agente ativo nesse sistema, normalmente é induzida pela taxa de intumescimento do polímero e, de acordo com a taxa de intumescimento do polímero e da taxa de difusão do agente ativo é possível obter diferentes perfis de liberação (McClements, 2014).

O mecanismo de liberação escolhido também interfere na escolha do polímero usado para o material de parede. Para se chegar ao mecanismo desejado de liberação do ingrediente bioativo, os polímeros (sintéticos) podem ter suas propriedades moldadas ou pode-se trabalhar com uma mistura de polímeros (natural e sintético) que apresentam propriedades diversas (Boostani & Jafari, 2020). As taxas de liberação de sistemas poliméricos podem ser controladas pela natureza e formato do material de parede.

Sistemas do tipo reservatório são adequados para liberar o agente ativo a uma taxa quase constante, enquanto sistemas matriciais são menos uniformes. Os sistemas controlados quimicamente resultam geralmente na degradação total da matriz, enquanto os sistemas ativados por solvente têm taxa de liberação independentes do pH (Boostani & Jafari, 2021).

6.4 Aplicação de compostos micro e nanoencapsulados de sabor e aroma na indústria de alimentos

No que concerne a encapsulação de compostos de sabor e aroma, a sua retenção e liberação controlada são tidas como prioridades no processamento de alimentos. Devido a variedade de métodos de encapsulamento disponíveis, suas diferentes formas (pasta, pó, cápsulas, grânulos e gotículas de emulsão) e tamanhos (micro e nanométrico), existe uma maior facilidade de distribuição destes compostos em produtos alimentícios e ajudam a prolongar a liberação de aromatizantes, e por causa dos vários fatores que causam sua degradação, os ingredientes aromatizantes são adicionados em diferentes estágios de

processamento, dependendo dos tipos de produtos feitos (Perez & Gaonkar, 2014; Saifullah et al., 2016; Ozdal et al., 2020).

Porém, o tipo de técnica de preservação do sabor e do aroma depende do tipo de produto em que será utilizado ou das condições de processamento pelas quais passará. Em produtos de panificação, micro e nanocápsulas de aroma são utilizadas na forma de pó, graças a sua estabilidade e facilidade de manuseio, contudo emulsões também são utilizadas neste tipo de produto com intuito de melhorar sua textura. Em congelados (sorvete), saborizantes são aplicados juntamente com outros ingredientes na etapa de mistura/homogeneização, o qual promovem a preservação destes compostos. Nas bebidas, os compostos de sabor e aroma são geralmente encapsulados na forma de micro e nanoemulsões antes de serem misturados com outros ingredientes (Cappelle, 2002; Wechtersbach, Ulrih, & Cigic, 2012; Kaderides & Goula, 2019).

A seguir serão apresentados dentro das áreas de alimentos algumas aplicações de compostos micro e nanoencapsulados e os respectivos produtos de aplicação.

6.4.2 Produtos cárneos

Os produtos cárneos em geral, são constituídos por uma matriz alimentícia com estrutura física e composição química complexa e sujeita à oxidação (Banerjee, Verma, & Siddiqui, 2017). Para resolver este problema, a técnica de encapsulamento surge como alternativa no encapsulamento de compostos como antioxidantes, são comumente utilizados neste tipo de produto na forma de pó, sendo utilizados como aditivos, garantindo a estabilidade microbiológica, facilitando o acondicionamento, transporte, armazenamento e comercialização (Tavares et al., 2014). Algumas das principais aplicações são resumidas na Tabela 5 que apresenta alguns sistemas ou ingredientes alimentares nano ou microencapsulados aplicados em produtos cárneos.

Tabela 5. Sistemas alimentares micro ou nanoencapsulados aplicados em produtos cárneos.

Ingrediente alimentar	Técnica de encapsulação	Produto cárneo	Resultados obtidos	Referência
Óleo de Peixe	*Spray dryer*	Salsichas curadas	Sem influência nas características físico-químicas, estabilidade oxidativa e alta aceitabilidade.	González *et al.,* (2020).
Óleo essencial de *Rosmarinus officinalis*	Nanoencapsulação em emulsão	Costeleta de carne	Atividade antioxidante, antimicrobiana e extensão da vida útil.	Hadian *et al.,* (2017).
Óleo essencial de tomilho	Nanoencapsulação por gelificação iônica	Hambúrguer de carne bovina	Atividade antimicrobiana e antioxidante.	Ghaderi-Ghahfarokhi, Barzegar, Sahari, Gavligui, & Gardini (2016).
Extrato de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*)	*Spray dryer*	Linguiça fresca	Estabilidade na cor e atividade antioxidante.	Baldin *et al.,* (2016).
Óleo essencial de cravo	Nanoencapsulação em nanogéis	Costeleta de carne	Atividade antioxidante, antimicrobiana, e preservação da cor.	Rajaei, Hadian, Mohsenifar, Rahmani-Cherati, Tabatabaei (2017).
Tripolifosfato, hexametafosfato e pirofosfato de sódio	*Spray dryer*	Frango moído e carne moída	Estabilidade oxidativa.	Kılıç, Simsek, Claus, & Atilgan (2014).
Lactobacillus plantarum BG 112	*Spray dryer*	Salsichas fermentadas funcionais	Produto probiótico e sem influência na aceitação sensorial.	Vasconcelos *et al.,* (2021).

6.4.3 Bebidas

O encapsulamento no mercado de bebidas funcionais tem aumentado de acordo com a demanda por sabor e aroma aprimorados, maior biodisponibilidade, maior vida útil, eficácia de custo, dentre outros. O aroma e sabor das bebidas foram aprimorados usando a tecnologia de encapsulamento, criando produtos inovadores com características como sabor aprimorado, odor desagradável mascarado, longa duração ou liberação rápida de sabor. Ingredientes funcionais são incorporados às bebidas usando tecnologia de encapsulamento para melhorar suas propriedades de promoção da saúde. Eles também permitem a proteção de probióticos, componentes facilmente oxidáveis, como compostos fenólicos, vitaminas, e lipídios insaturados (Perez & Gaonkar, 2014; Ozdal et al., 2017; Saifullah et al., 2019). A Tabela 6 apresenta sistemas ou ingredientes alimentares micro ou nanoencapsulados aplicados em bebidas.

Os produtos lácteos desempenham um papel de liderança no campo dos alimentos funcionais, sendo sua aceitação muito alta. Além disso, os laticínios são considerados transportadores probióticos ideais, devido ao seu conteúdo em proteínas, gorduras e lactose. Portanto, são considerados uma matriz ideal para a incorporação de diversos compostos de aroma e sabor. Produtos lácteos como queijos, iogurtes, leites fermentados e bebidas são considerados veículos adequados para a distribuição de produtos funcionais microencapsulados. Na Tabela 7 são apresentados alguns estudos com produtos microencapsulados aplicados em produtos lácteos (Turkmen, Akal, & Özer, 2019; Aljutaily et al.,2020; Kandylis, Dimitrellou, Moschakis, 2021).

Tabela 6. Sistemas ou ingredientes alimentares nano ou microencapsulados aplicados em bebidas.

Ingrediente alimentar	Técnica de encapsulação	Produto	Resultados obtidos	Referência
Cerveja *Pale Ale*	*Spray dryer*	Cerveja em pó.	Características antioxidantes e boa aceitação sensorial.	Maia *et al.,* (2020).
Bifidobacterium animalis	*Spray dryer*	Néctar de acerola	Propriedades probióticas e maior vida de prateleira.	Antunes *et al.,* (2013).
Lactococcus lactis	Extrusão	Suco de laranja	Propriedades probióticas.	Nami, Lornezhad, Kiani, Abdullah, & Haghshenas (2020).
Lactobacillus rhamnosus	*Spray dryer*	Suco de maçã	Propriedades probióticas.	Reque & Brandelli, (2021).
Ácido clorogênico	Complexo de inclusão	Suco de uva	Diminuição da degradação de antocianinas.	Shao, Zhang, Fang, & Sun (2014).
Ácido Ascórbico	Lipossomas	Suco de maçã	Aumento na estabilidade oxidativa	Wechtersbach, Ulrih, & Cigic (2012).
Ácidos fenólicos, antocianinas e glicosídeos de flavonóis	*Spray dryer*	Suco de cereja azeda	Maior retenção e preservação dos compostos encapsulados.	Garofulić, Zoric, Pesidic, & Dragovic -Uzela (2017).

Tabela 7. Sistemas ou ingredientes alimentares nano ou microencapsulados aplicados em leite e derivados.

Ingrediente alimentar	Técnica de encapsulação	Produto	Resultados Obtidos	Referência
Cantaxantina	Gelificação externa de emulsão múltipla	Leite funcional e Leite fermentado aromatizados	Atividade antioxidante, cor e viscosidade aparente desejáveis e maior vida de prateleira.	Arab, *et al.,* (2019).
Lactobacillus paracasei e *Lactobacillus salivarius*	Campo Elétrico Pulsado e Alta Pressão Hidrostática	Leite fermentado	Produto probiótico e maior vida de prateleira.	Patrignani, *et al.,* (2017).
Ácidos graxos ômega -3 (ácido eicosapentaenóico docosahexaenóico)	*Spray dryer*	Queijo fresco	Sem alteração das características físico -químicas, mascaramento dos atributos de odor e sabor desagradáveis.	Hejazian, Hatami, & Shendi (2016).
Óleo de menta	Coacervação	Sorvete	Propriedades funcionais.	Yilmaztekin *et al.,* (2019)
Fenólicos de casca de romã	*Spray dryer*	Iogurte	Sem alteração nas características físico -químicas e sensoriais, aumento nutricional do produto.	Çam *et al.,* (2014).

7. TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES NO SETOR INDUSTRIAL BRASILEIRO

Atualmente, os consumidores buscam alimentos variados, nutritivos, saudáveis e o mais natural possível. Essa mudança de comportamento exige que a indústria alimentícia se adapte ao perfil desse novo consumidor e deve investir no preparo de alimentos com potenciais benefícios à saúde (Figueiredo et al., 2022).

Essa mudança de comportamento exige que a indústria alimentícia se adapte ao perfil desse novo consumidor e invista no preparo de alimentos com potenciais benefícios à saúde. No setor industrial brasileiro, por exemplo, os produtos como de origem láctea, os cárneos, cereais, e bebidas, além de serem reconhecidos pelo seu caráter funcional ainda que na sua forma natural ou, quando forram desenvolvidos com ingredientes bioativos encapsulados, são bem aceitos e consumidos em quase todo o mundo.

Seguindo esse princípio, observa-se uma tendência exponencial e as inovações contínuas no setor industrial brasileiro relativos ao desenvolvimento de novos produtos alimentícios com ingredientes nano e microencapsulados, o que eleva a margem de produtividade e cria novas oportunidades para este setor (S. Khorasani et. al., 2021).

As indústrias brasileiras, portanto, vêm utilizando a nano e microencapsulação para o desenvolvimento de novos produtos, conferindo lhes um aumento no seu valor nutricional,

além de permitir bioacessibilidade a substâncias que em outras condições seriam degradadas. Outro fator importante é o aumentando na vida de prateleira do produto que facilita o armazenamento e transporte por tempos mais prolongados, em paralelo ajuda a manutenção da sanidade do produto (Figueiredo et al., 2022).

No caso particular da indústria alimentícia, no setor de nano/microencapsulação de ingredientes alimentares está a acontecer uma revolução através da digitalização de processos, o que vai resultar numa maior eficiência e flexibilidade em:

- Produção de alimentos (a chamada indústria 4.0);
- Atividades relacionadas com a cadeia de valor;
- Controle da qualidade e segurança alimentar.

Estes fatores, juntamente com a grande quantidade de informação disponível fruto da referida digitalização e avanços nas tecnologias de nano e microencapsulamento, melhorará a tomada de decisões por parte das equipes diretivas e de gestão, que detêm agora um conhecimento do consumidor mais detalhado, abre diversas oportunidades no campo da personalização do produto e novas formas de interação (KONUR et al., 2021).

As tecnologias de micro e nanoencapsulação estão a permitir, nos últimos tempos, desenvolver alimentos com novas propriedades, mais seguros e potencialmente mais saudáveis (encapsulamento de agentes bioativos com propriedades nutraceûticas), assim como ingredientes funcionais e aditivos novos com propriedades avançadas (KHORASANI et al., 2021). Trata-se de uma das alternativas mais procuradas pela indústria alimentar para gerar novos produtos inovadores com maior tempo de prateleira.

Assim, graças ao avanço da nanotecnologia e das operações unitárias no processo de encapsulamento, novos produtos referentes a substâncias bioativas de diversos alimentos encapsuladas por biopolímeros, nanoestruturas lipídicas ou poliméricas ou outras formas têm vindo a ser comercializados com grande sucesso por indústrias alimentares e startups inovadoras na área alimentícia (PAREDES et al., 2016).

Portanto, a microencapsulação e a nanoencapsulação dispõem da tecnologia de primeiro nível na inovação de produtos alimentares, sendo chaves para o desenvolvimento de: (i) aditivos naturais, (ii) ingredientes funcionais, (iii) estabilizadores de produtos, (iv) ingredientes avançados para a geração de novas percepções no consumidor (novas experiências), (v) melhorias sensoriais de alimentos e outros produtos (sabor, olfato, cor).

Com a crescente demanda de alimentos funcionais, incluindo ômega-3, probióticos, vitaminas e fitoquímicos, o setor industrial brasileiro têm incorporado tais ingredientes funcionais em uma ampla gama de produtos, como pães, leite, sucos de frutas, tortilhas, chocolate, bebidas à base de iogurte, pastas, manteiga de amendoim, ovos e carne. Assim, vários métodos de nano e microencapsulação de diferentes bioativos foram desenvolvidos (Raddatz et al., 2022).

A Tabela 8 apresenta algumas empresas brasileiras do setor alimentício responsáveis por produtos bioativos com recurso da tecnologia de micro e nanoencapsulação.

Tabela 8. Empresas e startups brasileiras do setor alimentício responsáveis por produtos desenvolvidos com recurso da tecnologia de micro e nanoencapsulação.

Empresa/startup	Apoio	Produtos	Nanoestrutura e/ou agente de encapsulante	Inovação
Mikron (São Paulo)	PIPE-FAPESP	Ômega-3 nanoencapsulado	Nanoesferas de fitoesteróis (100-400 nm)	Melhoria da biodisponibilidade (taxa de absorção), maior prazo de validade, primeiro produto de ômega-3 em pó (Brasil) e características organolépticas melhoradas.
NanoScoping (Santa Catarina)	Finep Startup	Nano Citronela Plus, Nano Neem e Nano Repel	Óleos essenciais nanoencapsulados	Melhoria na estabilidade e a solubilidade em água facilitando a incorporação em diferentes bases e diferentes aplicações (exemplo: biopesticida, repelentes animais, xampus, sprays e loções).
Olibi (Minas Gerais)		Azeite de oliva em pó e aromatizados	Microencapsulamento de azeite de oliva	Produtos inovadores e pioneiros no mercado.
Weecaps (Rio Grande do Sul)		Probióticos encapsulados	Microestruturas de probióticos	Produtos inovadores e pioneiros no mercado, ampliação da gama de produtos e maior tempo de prateleira.

A empresa Funcional Mikron, de Valinhos (SP), desenvolveu um produto inovador de ômega-3 nanoencapsulado com o fitoesterol, resultando num produto alimentício em pó com a absorção do produto no organismo mais eficiente, maior tempo de prateleira e benefícios nutracêuticos. Com a nova formulação, tanto nas cápsulas como no pó, o ômega-3 apresenta melhoria no quesito de sabor e odor, deixando de apresentar características desagradáveis do óleo de peixe usado como matéria-prima. Para o desenvolvimento deste produto, a empresa teve o apoio do Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas da FAPESP (PIPE). Há que ressaltar a importância do apoio de instituições governamentais no incentivo à indústria 4.0 e à pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, de forma a competir com o mercado global, cada vez mais competitivo.

Assim, a micro e nanoencapsulação tem um espaço promissor no setor industrial brasileiro, uma vez que demonstra ser uma alternativa eficiente para superar grandes desafios enfrentados por esse seguimento.

8. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

As técnicas de nano e microencapsulação são fundamentais na preservação e na eficácia de diversos compostos bioativos, nutracêuticos que compõem um sistema alimentar. Para isso, métodos físicos, químicos e físico-químicos têm sido usados. As técnicas apresentadas de encapsulamento propiciam maior estabilidade, além de maior diversidade de aplicação para desenvolver produtos, para diversificar e/ou melhorar aqueles que já estão disponíveis no mercado. No geral, as tecnologias de micro e nanoencapsulamento fornecem grande capacidade de carregamento, proteção e eficiência de encapsulamento, além de estabilidade aprimorada e melhor controle sobre o perfil de liberação. A combinação de duas abordagens de encapsulamento para obter as características desejadas de micro ou nanocápsulas também vem sendo aplicada, bem como na combinação de agentes encapsulantes, devido aos resultados promissores obtidos. Portanto, os avanços recentes no encapsulamento de sabor e aroma apresentam contribuição notável para o mercado atual, tanto no que diz respeito aos mecanismos de liberação de sabor quanto na eficiência de aplicação em diferentes sistemas alimentares, propriedades do material de parede e comportamento de armazenamento do pó encapsulado, a fim de se integrar com os avanços recentes e acelerar sua comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Portaria nº 1.358 de 20 de agosto de 2014.

Agnihotri, N. (2020) Microencapsulation–a novel approach in drug delivery: a review. Asian Journal of Research in Pharmaceutical Science, 10(1), 39- 50.

Aguiar, J., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. Trends in Food Science & Technology, 58, 21-39.

Alberton, K. S., Moraes, A. B. R., Anderson, P. R., Stein, Z. T. R., Junior, M. J. S., & Stein, C. R. (2020). Síntese e caracterização morfológica e estrutural de nanopartículas magnéticas de ferrita de cobalto. Brazilian Journal of Development, 6(6), 39371-39378.

Albuquerque, M. D. da F. de, Peçanha, E. R., Simão, R. A., Filho, L. de S. L., & Monte, M. B. de M. (2021). Curvas de forças entre hematita e quartzo por afm e seu efeito na seletividade do processo de flotação de minério de ferro. Brazilian Journal of Development, 7(4), 41357-41367.

Alexandre, H. V., Figueiredo, R. M. F. de, & Queiroz, A. J. de M. (2007). Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. Revista de Biologia e Ciências da Terra, 7(1), 11-20.

Aljutaily, T., Huarte, E., Martinez-Monteagudo, S., Gonzalez-Hernandez, J. L., Rovai, M., Sergeev, I. N. (2020). Probiotic-enriched milk and dairy products increase gut microbiota diversity: a comparative study. Nutrition Research, 82, 25-33.

Alkhatib, H., Mohamed, F., Akkawi, M. E., Alfatama, M., Chatterjee, B., & Doolaanea, A. A. (2020). Microencapsulation of black seed oil in alginate beads for stability and taste masking. Journal of Drug Delivery Science and Technology, 60, 102030.

Alkhatib, H., Doolaanea, A. A., Assadpour, E., Sabere, A. S. M., Mohamed, F., Jafari, S. M. (2022). Optimizing the encapsulation of black seed oil into alginate beads by ionic gelation, Journal of Food Engineering, v. 328.

Alves, M. P., Moreira, R. de O., Júnior, P. H. R., Martins, M. C. de F., Perrone, I. T., & Carvalho, A. F. de. (2014). Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. Revista do Instituto Cândido Tostes, 69(3), 212-226.

Amiri-Rigi, A., & Abbasi, S. (2019). Extraction of lycopene using a lecithin-based olive oil microemulsion. Food Chemistry, 272, 568-573.

Amsalem, O., Nassar, T., Benhamron, S., Lazarovici, P., Benita, S., & Yavin, E. (2017). Solid nano-in-nanoparticles for potential delivery of siRNA. Journal of Controlled Release, 257, 144-155.

Anandharamakrishnan, C., Rielly, C. D., & Stapley, A. G. (2010). Spray-freeze-drying of whey proteins at sub-atmospheric pressures. Dairy Science & Technology, 90 (2–3), 321-334.

Andrade, S. de F., Nascimento, R. S., Carvalho, F. A. de, Santos, A. M. dos, & Pagani, A. A. C. (2020). Microencapsulação de cúrcuma longa (Açafrão) pelo método de gelificação iônica, agregando valor ao vinagre de álcool. Brazilian Journal of Development, 6(3), 12387-12398.

Antunes, A. E. C., Liserre, A. M., Coelho, A. L. A., Menezes, C. R., Moreno, I., Yotsuyanagi, K., & Azambuja, N. C. (2013). Acerola néctar with added microencapsulated probiotic. LWT – Food Science Technology, 54, 125-131.

Anzar, N., Mirza, M. A., Anwer, K., Khuroo, T., Alshetaili, A. S., Alshahrani, S. M., ... & Iqbal, Z. (2018). Preparation, evaluation and pharmacokinetic studies of spray dried PLGA polymeric submicron particles of simvastatin for the effective treatment of breast cancer. Journal of Molecular Liquids, 249, 609-616.

Anwar, S. H., & Kunz, B. (2011). The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparasion of spray granulation, spray drying, and freeze drying. Journal of Food Engineering, 105(2), 367-378.

Arab, M., Razavi, S. H., Hosseini, S. M., Nayebzadeh, K., Meybodi, N. M., Khannini, E., ...& Mortazavian, A. M. (2019). Production and characterization of functional flavored milk and flavored fermented milk using microencapsulated canthaxanthin. LWT – Food Science and Technology, 114, 108373.

Araújo, F. F., Farias, D. P., Neri-Numa, I. A., Dias-Audibert, F. L., Delafiori, J., Souza, F. G. de, ... & Pastore, C. M. (2021). Gastrointestinal bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds from araçá-boi fruit. LWT- Food Science and Technology, 135, 110230.

Arcocha-Torres, M. de, Quincoces, G., Martínez-López, A. L., Erhard, A., Collantes, M., Martínez-Rodríguez, I., ... & Peñuelas, I. (2020). Preparación, radiomarcaje con 99mTc y 67Ga y estudios de biodistribución de nanopartículas de albúmina con recubrimientos poliméricos. Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular, 39(4), 225-232.

Arpagaus, C., Collenberg, A., Rutti, D., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2018). Nano spray drying for encapsulation of pharmaceuticals. International Journal of Phamaceutics, 546, 195-214.

Arpagaus, C. (2018). Nano spray drying of pharmaceuticals. Am. J. Nanotechnol. Nanomedicine, 1, 64-68.

Arpagaus, C., John, P., Collenberg, A., & Rütti, D. (2017). Nano Capsules Formation by Nano Spray Drying. Nanoencapsulation Technologies for the Food and Nutraceutical Industries, Elsevier, 346-401.

Arpagaus, C., & Schafroth, N. (2009). Laboratory scale spray drying of biodegradable polymers. Respiratory Drug Delivery Europe, 269-274.

Arslan-Tontul, S., & Erbas, M. (2017). Single and double layered microencapsulation of probiotics by spray drying and spray chilling. LWT - Food Science and Technology, 81, 160-169.

Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to nanocapsules. Annual Review Food Science and Technology, 10, 103-131.

Assis, L. M., Zavareze, E. R., Prentice-Hernández, C., & Souza-Soares, L. A. (2012). Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. Brazilian Journal of Food Technology, 15(2), 99-109.

Augustin, M. A., & Hemar, Y. (2009). Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. Chemical Society Reviews, 38(4), 902-912.

Avilés-Castrillo, J. I., Quintanar-Guerrero, D., Aguilar-Pérez, K. M., & Medina, D. I. (2021). Biotriborheology of shea butter solid lipid nanoparticle in a topical cream. Tribology International, 156, 106836.

Azar, F. A., Pezeshki, A., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., & Mohammadi, M. (2020). Nanoestructured lipid carriers: Promising delivery systems for encapsulation of food ingredients. Journal of Agriculture and Food Research, 2, 100084.

Azeredo, H. M. C. (2005) Encapsulação: Aplicação à Tecnologia de Alimentos. Alimentos e Nutrição Araraquara, 89-97.

Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 15(1), 143-182.

Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majjed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. (2015). Microencapsulation of olis: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 0, 1-40.

Baldin, J. C., Michelin, E. C., Polizer, Y. J., Rodrigues, I., Godoy, S. H. S. de., Fregonesi, R. P., ... & Trindade, M. A. (2016). Microencapsulated jabuticaba (Myrciaria cauliflora) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. Meat Science, 118, 15-21.

Balakrishnan, M., Gayathiri, S., Preetha, P., Pandiselvam, R., Jeevarathinam, G., Delfiya, D. S. A., & Kothakota, A. (2021). Microencapsulation of bixin pigment by spray drying: Evaluation of characteristics. LWT - Food Science and Technology, 145, 111343.

Banerjee, R., Verma, A. K., & Siddiqui, M. W. (2017). Natural antioxidants: Applications in foods of animal origin. Apple Academic Press: New York.

Barreto, A. R., Ramírez-Merída, L. G., Etchepare, M. de A., Jacob-Lopes, E., & Menezes, C. R. de. (2015). Materiais de revestimento utilizados na microencapsulação de probióticos. Ciência e Natura, 37, 164-174.

Barroso, T. L. C. T.; Alexandre, J. DE B.; Silva, L. C. DA; Castelo, R. M.; Ribeiro, L. B.; Furtado, R. F.; Zambelli, R. A. (2021). Encapsulation technology in the food area: A review. Research, Society and Development, v. 10, n. 7, p. e6210716240, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16240.

Barroso, L., Viegas, C., Vieira, J., Ferreira-Pêgo, C., Costa, J., & Fonte, P. (2021). Lipid-based carriers for food ingredients delivery. Journal of Food Engineering, 295, 110451.

Bazana, M. T., Codevilla, C. F., & Menezes, C. R. (2019). Nanoencapsulation of bioactive compounds: Challenges and perspectives. Current Opinion in Food Science, 26, 47-56.

Bazana, M. T., Codevilla, C. F., Silva, C. de B. da, & Menezes, R. de. (2015). Nanoencapsulação de licopeno em alimentos. Ciência e Natura, 37, 38-48.

Beirão-da-Costa, S., Duarte, C., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Serra, A. T., & Moldão, M. M. (2012). Effect of the matrix system in the delivery and in vitro bioactivity of microencapsulated oregano essential oil. Journal of Food Engineering, 110, 190-199.

Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential - what they are and what they are not. Journal of Controlled Release, 235, 337–351.

Boostani S., & Jafari S. M., (2021). A comprehensive review on the controlled release of encapsulated food ingredients; Fundamental concepts to design and applications. Trends in Food Science & Technology, 109, 303-321.

Boostani S., & Jafari, S. M. Controlled release of nanoencapsulated food ingredients. (2020). Release and bioavailability of nanoencapsulated food ingredients, 5, 27-78.

Botrel, D. A., Borges, S. V., Fernandes, R. V. de B., Antoniassi, R., Faria-Machado, A. F. de, Feitosa, J. P. de A., & Paula, R. C. M. de. (2017). Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. Food Chemistry, 221, 1522-1529.

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de outubro de 1997.

Burgain, J., Petit, J., Scher, J., Rasch, R., Bhandari, B., & Gaiani, C. (2017). Surface chemistry and microscopy of food powders. Progress in Surface Science, 1-21.

Butstraen, C., & Salaün, F. (2014). Preparation of microcapsules by complex coacervation of gum Arabic and chitosan. Carbohydrate Polymers, 99, 608-616.

Çam, M., Içyer, N. C., & Erdoğan, f. (2014). Pomegranate peel phenolics: Microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. LWT - Food Science and Technology, 55(1), 117-123.

Campelo-Félix, P. H., Souza, H. J. B., Figueiredo, J. de A., Fernandes, R. V. de B., Botrel, D. A., Oiveira, C. R. de., ...& Borges, S. V. (2017). Prebiotic carbohydrates: Effect on reconstitution, storage, release, and antioxidant properties of lime essential oil microparticles. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 65, 445-453.

Cappelle, S. (2002). New flavoured improver for baking applications. In: United State patent application publication US 2002/0106439 A1.

Cardoso, I. C., Pereira, H. M. G., Tappin, M. R. R., & Behrens, M. D. D. D. (2017). Influência da técnica de extração e do tamanho de partícula do material vegetal no teor de compostos fenólicos totais da tintura das folhas de Alpinia zerumbet. Revista Fitos, 62-68.

Carvalho, L. T., Moraes, R. M., Teixeira, A. J. R. M., Tada, D. B., Alves, G. M., Lacerda, T. M., ... & Medeiros, S. F. Development of pullulan-based carriers for controlled release of hydrophobic ingredients. Journal of Applied Polymer.

Casanova, F., Estevinho, B. N., & Santos, L. (2016). Preliminary studies of rosmarinic acid microencapsulation with chitosan and modified chitosan for topical delivery. Powder Technology, 297, 44-49.

Castejón, N., Luna, P., & Señoráns, F. J. (2021). Microencapsulation by spray drying of omega-3 lipids extracted from oilseeds and microalgae: Effect on polyunsaturated fatty acid composition, LWT - Food Science and Technology, 148, 111789.

Castelo, R. M., Silva, L. C. da, & Furtado, R. (2020). Gelificação iônica: Técnica eficaz para encapsulação de compostos ativos - uma revisão. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, 1(18), 546-560.

Castro-Rosas, J., Ferreira-Grosso, C. R., Gómez-Aldapa, C. A., Rangel-Vargas, E., Rodríguez-Marín, M. L., Guzmán-Ortiz, F. A., & Falfan-Cortes, R. N. (2017). Recent advances in microencapsulation of natural sources of antimicrobial compounds used in food - A review. Food Research International, 102, 575-587.

Cavalheiro, C. P., Etchepare, M. de A., Menezes, M. F. da S. C. de, Menezes, C. R. de, & Fries, L. L. M. (2015). Encapsulação: Alternativa para a aplicação de microrganismos probióticos em alimentos termicamente processados. Ciência e Natura, 37(5), 65-74.

Chen, Q., Yu, H., Wang, L., Abdin, Z., Chen, Y., Wang, J., ... & Chen, X. (2015). Recent progress in chemical modification of starch and its applications. Royal Society of Chemistry, 5, 67459-67474.

Cheng, R., Liu, L., Xiang, Y., Lu, Y., Deng, L., Zhang, H., ... & Cui, W. (2020). Advanced liposome-loaded scaffolds for therapeutic and tissue engineering applications. Biomaterials, 232, 119706.

Cheong, A., M., Tan, X. P., Nyam, K. L. (2016). In vitro evaluation of the structural and bioaccessibility of kenaf seed oil nanoemulsions stabilised by binary emulsifiers and β-cyclodextrin complexes. Journal of Food Engineering, 189, 90-98.

Choi, S. J., & McClements, D. J. (2020). Nanoemulsions as delivery systems for lipophilic nutraceuticals: strategies for improving their formulation, stability, functionality and bioavailability. Food Science and Biotechnology, 29(2), 149-168.

Chopde, S., Datir, R., Deshmukh, G., Dhotre, A., & Patil, M. (2020). Nanoparticle formation by nanospray drying & its application in nanoencapsulation bioactive ingredients. Journal of Agriculture and Food Research, 2, 1-7.

Chuacharoen, T., & Sabliov, C. M. (2019). Comparative effects of curcumin when delivered in a nanoemulsion or nanoparticle form food applications: study on stability and lipid oxidation inhibition. LWT – Food Science and Technology, 113(2), 108319.

Coelho, S. C., Estevinho, B. N., & Rocha, F. (2021). Encapsulation in food industry with emerging electrohydrodynamic techniques: Electrospinning and electrospraying – A review. Food Chemistry. 339, 127850.

Cognette, R. C., & Pereira, E. B. (2017). Otimização e caracterização de micropartículas de quitosana imobilizada em lipase pancreática comercial. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, 15(1), 14-21.

Comunian, T. A., & Favaro-Trindade, C. S. (2016). Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. Food Hydrocolloids, 61, 442-457.

Corre, D. L., & Angellier-Coussy, H. (2014). Preparation and application of starch nanoparticles for nanocomposites: A review. Reactive & Functional Polymers, 85, 97-120.

Corrêa-Filho, L. C., Lourenço, M. M., Moldão-Martins, M., & Alves, V. D. (2019). Microencapsulation of –carotene by spray-drying: Effect of wall material concentration and drying inlet temperature. International Journal of Food Science, 19, 1-12.

Cortez-Trejo, M. C., Wall-Medrano, A., Gaytán-Martínez, M., & Mendoza, S. (2021). Microencapsulation of pomegranate seed oil using a succinylated taro starch: Characterization and bioaccessibility study. Food Bioscience, 41, 100929.

Costa, A. M. M., Moretti, L. K., Simões, G., Silva, K. A., Calado, V., Tonon, R. V., & Torres, A. G. (2020). Microencapsulation of pomegranate (Punica granatum L.) seed oil by complex coacervation: Development of a potential functional ingredient for food application. LWT – Food Sccience and Technology, 31, 109519.

Costa, J. M. G., Silva, E. K., Hijo, A. A. C. T., Azevedo, V. M. & Borges, S. V., (2015). Physical and Thermal Stability of Spray-Dried Swiss Cheese Bioaroma Powder, Drying Technology, 33:3, 346-354.

Costa, J. M. G., Hijo, A. A. C. T., Silva, E. K., Borges, S. V., & Marques, G. R. (2016). Agregando valor a las frutas del cerrado brasileño: Encapsulación de aceite de pequi a través del secado por atomización. Engenharia na Agricultura (Impresso), 23, 197-240.

Costa, R. N. da, Laurindo, W. C, Coimbra, J. S. R., Mageste, A. B., & Santos, I. J. B. (2017). Nanoestruturas de β-Lactoglobulina e sua capacidade de encapsular moléculas bioativas. Blucher Chemical Engineering Proceedings, 1(4), 163-168.

Costa, S. S., Machado, B. A. S., Martin, A. R., Bagnara, F., Ragadalli, S. A., Alves, A. R. C. (2015). Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. African Journal of Food Science, 9(9), 462-470.

CPh | online. Acesso: 05/05/2021. Disponível em: <https://www.cphi-online.com/>.

Cutrim, C. S., Alvim, I. D., & Cortez, M. A. S. (2019). Microencapsulation of green tea polyphenols by ionic gelation and spray chilling methods. Journal of food science and technology, 56(8), 3561-3570.

Dalmoro, A., Barba, A. A., Lamberti, G., & D'Amore. M. (2012). Intensifying the microencapsulation process: Ultrasonic atomization as an innovative approach. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 80(3), 471-477.

Davis, C. R., Martinez, C. J., Howarter, J. A, & Erk, K. A (2020). Emulsificação espontânea controlada por difusão de óleos solúveis em água via intumescimento de micelas. Langmuir, 36(26), 7517-7527.

Dawoud, T. M., Yassin, M. A., El-Samawaty,A. R. M., & Elgorban, A. M. (2021). Silver nanoparticles synthesized by Nigrospora oryzae showed antifungal activity. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(3), 1847-1852.

Del Gaudio, P., Sansone, F., Mencherine, T., De Cicco, F., Russo, P., & Aquino, R. P. (2017). Nanospray dryingas a novel tool to improve technological properties of soy isoflavone extracts. Planta Medica, 83(5), 426-433.

Desai, K. G. H., & Park, H. J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. Drying Technology, 23, 1361-1394.

Dhakal, S. P., He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. Food Research International, 137, 109326.

Dianawati, D., Mishra, V., & Shah, N. P. (2016). Viability, acid and bile tolerance of spray dried probiotic bacteria and some commercial probiotic supplement products kept at room temperature. Journal of Food Science, Illinois, 81(6), 1472-1479.

Dias, M. I., Ferreira, I. C. F. R., & Barreiro, M. F. (2015). Microencapsulation of bioactives for food applications. Food & Fuction, 6, 1035-1052.

Dinisb, A. C., Guimarãesc, K. L., & Matteucci, C. (2017). Cálculo e avaliação da incerteza estimada de medição dos ensaios de análise de tamanho de partículas-espalhamento de luz (DLS). Revista IPT: Tecnologia e Inovação, 1(5).

Dodero, A., Schlatter, G., Hébraud, A., Vicini, S., & Castellano, M. (2021). Polymer-free cyclodextrinand natural polymer-cyclodextrin electrospun nanofibers: A comprehensive review on current applications and future perspectives. Carbohydrate Polymers, 264, 118042.

Dordevic, V., Balanc, B., Belscak-Cvitanovic, A., Levic, S., Trifkovic, K., Kalusevic, A., ... & Nedovic, V. (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. Food Enginnering Review, 7, 452-490.

Dubey, R., Shami, T. C., & Bhasker Rao, K. U. (2009). Microencapsulation technology and applications. Defence Science Journal, 59(1), 82-95.

Duchêne, D., & Bochot, A. (2016). Thirty years with cyclodextrins. International Journal of Pharmaceutics, 514(1), 58-72.

Dufresne, A. (2017). Cellulose nanomaterials as green nanoreinforcements for polymer nanocomposites. The Royal Society, p. 1-23, 2017.

Embrapa. (2010). Princípios de secagem de alimentos. Planaltina. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883845/1/doc276.pdf>.Acesso em: 14 de julho de 2021.

Esposto, B. F., Jauregi, P., Tapia-Blácido, D. R., & Martelli-Tosi, M. (2021). Liposomes Vs chitosomes: encapsulating food bioactives. Trends in Food Science and Technology, 108, 40-48.

Estevinho, B. N., Damas, A. M., Martins, P., & Rocha, F. (2014). Microencapsulation of β-galactosidase with different biopolymers by a spray-drying process. Food Research International, 64, 134-140.

Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L., Alves, A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. Trends in Food Science & Technology, 31 (2),138-155.

Etchepare, M. de A., Menezes, M. F. da S. C. de, Rodrigues, L. Z., Codevilla, C. F., & Menezes, C. R. de. (2015). Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão. Ciência e Natura, v. 37, p. 97-105, 2015.

Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: A Review. Food and Bioprocess Technology, v.6 (3), pp. 628-64.

Ezhilarasi, P. N, Indrani, D., Jena, B., Anandharamakrishnan, C. (2013) Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. Journal of Food Engineering, v. 117 (4), pp. 513-520

Falleh, H., Jemaa, M. B., Neves, M. A., Isoda, H., Nakajima, M., & Kisouri, R. (2021). Formulation, physicochemical characterization, and anti – E. coli activity of food-grade nanoemulsions incorporating clove, cinnamon, and lavender essential oils. Food Chemistry, 359, 129963.

Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols-A review. Trends in Food Science & Technology, 21(10), 510-523.

Fanger, G. O. (1974). Microencapsulation: A brief history and introduction. J.E. Vandegaer (Ed.), Microencapsulation: Processes and applications, Springer, US, 1-20.

Fathi, M., Martín, A., & McClements, D. J. (2014). Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems. Trends in Food Science & Technology, 39, 18-39.

Fatnassi, M., Tourné-Péteilh, C., Peralta, P., Cacciaguerra, T., Dieudonné, P., Devoisselle, J. M., & Alonso, B. (2013). Encapsulation of complementary model drugs in spray-dried nanostructured materials. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 68(2), 307-316.

Favaro-Trindade, C. S., Pinho, S. C. de, & Rocha, G. A. (2008). Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. Brazilian Journal Food Technology, 11(2), 103-112.

Favaro-Trindade, C. S., Okuro, P. K., & Matos Junior, F. E., 2015. Encapsulation via spray chilling/cooling/congealing. In: Mishra, M.K. (Org.). Handbook of Encapsulation and Controlled Release. CRC Press, Boca Raton, 71–88.

Feng, K., Zhai, M-Y., Zhang, Y., Linhardt, R. J., Zong, M-H., Li, L., & Wu, H. (2018). Improved viability and thermal stability of the probiotics encapsulated in a movel electrospun fiber mat. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(41), 10890-10897.

Fenyvesi, É., Vikmon, M., & Szente, L. (2016). Cyclodextrins in food technology and human nutrition: Benefits and limitatins. Critical Review and Food Science and Nutrition, 56, 1981-2004.

Fernandes, L. P., Candido, R. C., & Oliveira, W. P. (2012). Spray drying microencapsulation of Lippia sidoides extracts in carbohydrate blends. Food and Bioproducts Processing, 90, 425-432.

Fernandes, R. V. de B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. Carbohydrate Polymers, 101, 524-532.

Fernando, I. P. S., Lee, W. W., Han, E. J., & Ahn, G. (2020). Alginate-based nanomaterials: Fabrication techniques, properties, and applications. Chemical Engineering Journal, 391.

Ferreira, C. D., & Nunes, I. L. (2019). Oil nanoencapsulation: development, application, and incorporation into the food market. Nanoscale Research Letters, 14(9), 1-13.

Fessi, H., Puisieux, F., Devissaguet, J. Ph., Ammoury, N., & Benita, S. (1989). Nanocapsule formation by interfacial polymer deposition following solvent displacement. International Journal of Pharmaceutics, 55(1), R1–R.

Figueiredo, J. A.; Silva, C. R. P.; Oliveira, M. F. S.; Norcino, L. B.; P. H. C.; Botrel D. A.; Borges, S. V. (2022). Microencapsulation by spray chilling in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. Trends in Food Science & Technology, 120, 274-287.

Food and Drug Administration (FDA). Guidance for Industry Considering Whether an FDA-Regulated Product Involves the Application of Nanotechnology. (2014). Disponível em: <https://www.fda.gov/media/88423/download> Acesso: 05/05/2021.

Fredenberg, S., Wahlgren, M., Reslow, M., & Axelsson, A. (2011). The mechanisms of drug release in poly (lactic-co-glycolic acid)-based drug delivery systems - a review. International Journal of Pharmaceutics, 415 (1–2), 34-52.

Freitas, C. F. de, Batistela, V. R., Caetano, W., & Hioka, N. (2020). Lipossomas de longa-circulação como estratégia promissora para o transporte e biodisponibilização de fármacos no tratamento de câncer. Revista Uningá Review, 35, 1-24.

Fuciños, C., Míguez, M., Funiños, P., Pastrana, L.M., Rúa, M. L., & Vicente, A. A. Creating functional nanostructures: Encapsulation of caffeine into α-lactoalbumin nanotubes. Innovative

Food Science & Emerging Technologies, 40, 10-17.

Galindo, M. V., Paglione, I. dos S., Coelho, A. R., Leimann, F. V., & Shirai, M. A. (2020). Produção de nanopartículas de quitosana e aplicação como revestimento em blendas de amido de mandioca e poli (ácido lático). Research, Society and Development, 9(9), e505997694.

Galleti, S. R. (2003). Introdução a microscopia eletrônica. Biológico, 65(1 / 2), 33-35.

Garofulic, I. E., Zoric, Z., Pesidic, S., & Dragovic-Uzelac, V. (2017). Retention of polyphenols in encapsuled sour cherry juyce in dependence of drying temperature and wall material. LWT- Food Science and Technology, 83, 110-117.

Gattefossê. Personal care ingredientes & pharmaceutical excipientes. Acesso: 05/05/2021. Disponível em: < https://www.gattefosse.com/>.

Ghahfarokhi, M. G., Barzegar, M., Sahari, M. A., Gavligui, H. A., & Gardini, F. (2017). Chitosan-cinnamon essential oil nano-formulation: Application as a novel additive for controlled release and shelf life extension of beef patties. International Journal of Biological Macromolecules, 102, 19-28.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. Food Research International, 40, 1107-1121.

Gohel, M. C., & Gohani, P. D. (2005). A review of co-processed directly compressable excipients. Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences: a publication of the Canadian Society for Pharmaceutical Sciences, Société canadienne des sciences pharmaceutiques, 8(1), 76–93.

Ghorani, B. & Tucker, N. Fundamentals of electrospinning as a novel delivery vehicle for bioactive compounds in food nanotechnology. Food Hydrocolloids, 51, 227-240.

Gomaa, E., Fathi, H. A., Eissa, N. G., & Elsagahy, M. (2021). Methods for preparation of nanoestructured lipid carriers, Methods, 14.

Gomes, D. M. D., Durán, N., Seabra, A. B., Silva, L. de P., Prado, F. B., Silva, T. de A., & Teixeira, M. F. S. (2020). Síntese verde de nanopartículas de prata intermediada por fungo anamórfico e eficácia antibacteriana e antifúngica. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais, 15(2), 433-443.

Gomez-Estaca, J., Comunian, T. A., Montero, P., Ferro-Furtado, R., & Favaro-Trindade, C. S. (2016). Encapsulation of an astaxanthin-containing lipid extrat from shrimp waste by complex coacervation using a novel gelatin-cashew gum complex. Food Hydrocolloids, 61, 155-162.

Gómez-Mascaraque, L. G., Sipoli, C. C., La Torre, L. G., López-Rubio, A. (2017). Microencapsulation structures based on protein-coated liposomes obtained through electrospraying for the stabilization and improved bioaccessibility of curcumin. Food Chemistry. 233, 343-350.

Gong, P., Zhang, L., Han, X., Shigwedha, N., Song, W., & Yi, H., Cao, C. (2014). Injury mechanisms of lactic acid bacteria starter cultures during spray drying: A review. Drying Technology, 32(7), 793-800.

Gontijo, L. A. P., Raphael, E., Ferrari, D. P. S., Ferrari, J. L., Lyon, J. P., & Schiavon, M. A. (2020). Efeito do pH na síntese de diferentes tamanhos de nanopartículas de prata avaliados por EDL e sua atividade antimicrobiana dependente do tamanho. Revista Matéria (Rio de Janeiro), 25(4).

González. M. N. de., Attaie, R., Woldesenbet, S., Mora-Gutierrez, A., Kirven J., Jung, Y., & Myers, D.

(2020). Effect of feeding a low level of encapsulated fish oil to dairy goats on milk yield, composition, and fatty acid profile. Journal of the American oil Chenisty's Society, 97(3), 281-288.

González-Aguilar, G. A., Blancas-Benítez, F. J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2017). Polyphenols associated with dietary fibers in plant foods: Molecular interactions and bioaccessibility. Current Opinion in Food Science, 13, 84-88.

González-Ortega, R., Faieta, M., Di Mattia, C. D., Valbonetti, L., & Pittia, P. (2020). Microencapsulation of olive leaf extract by freeze-drying: Effect of carrier composition on process efficiency and technological properties of the powders. Journal of Food Engineering, 285, 1-11.

Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. Trends in Food Science & Technology, 15, 330-347.

Guimarães, D., Cavaco-Paulo, A., & Nogueira, E. (2021). Design of liposomes as drug delivery system for therapeutic applications. International Journal of Pharmaceutics, 601, 120571.

Guizzardi, R., Vaghi, L., Marelli, M., Natalello, A., Andreosso, I,. Papagni, A., & Cipolla, L. (2019). Gelatin-Based Hydrogels through homobifunctional triazolinediones targeting tyrosine residues. Molecules, 24, 1-12.

Gula, A., Ren, L., Zhou, Z., Lu, D., Wang, S. (2013). Design and evaluation of biodegradable enteric microcapsules of amifostine for oral delivery. International Journal of Pharmaceutics, 453(2), 441-447.

Hadian, M., Rajaei, A., Mohsenifar, A., Tabatabaei, M. (2017). Encapsulation of Rosmarinus officinalis essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antibacterial activity in beef cutlet against Salmonella typhimurium during refrigerated storage. LWT, 84, 394-401.

Hagemann, E. C. S., Marcano, R. G. del J. V., Machado, C. S., Lima, F. O., Benvegnú, D. M., Mainardes, R. M., ... & Gallina, A. L. (2020). Nanopartículas de poli-ε-caprolactona contendo TBHQ: desenvolvimento, caracterização e aplicação. Brazilian Journal of Development, 6(11), 84765-84780.

Hashim, N. A., Mudalip, S. K. A., Sulaiman, S. Z., & Shaarani, S. M. (2021). Nutritional values and microencapsulation techniques of fish oil from different sources: A mini review

. Materials Today: Proceedings, 42(1), 222-228.

Hejazian, S., Hakami, S. H., & Shendi, E. G. (2016). Sensorial properties, chemical characteristics and fatty acids profile of cheese fortified by encapsulated kilka fish oil. Modern Applied Science, 10(3), 208-213.

Helgason, T., Awad, T. S., Kristbergsson, K., Mcclements, & D. J., Weiss, J. (2009). Effect of surfactant surface coverage on formation of solid lipid nanoparticles (SLN). Journal of Colloid and Interface Science, Oxford, 334(1), 75-81.

Holkem, A. T., Codevilla, C. F., & Menezes, C. R. de. (2015). Emulsificação/gelificação iônica interna: Alternativa para microencapsulação de compostos bioativos. Ciência e Natura, 37, 116-124.

Huang, Q., Yu, H., & Ru, Q. (2010). Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. Journal of Food Science, 75 (1), R50-R57.

Hussain, M. A., Liu, H., Wang, Q., Zhong, F., Guo, Q., & Balamurugan, S. Use of encapsulated bacteriophages to enhance farm to fork food safety. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57, 2801-2810.

Jafari, S. M., Arpagaus, C., Cerqueira, M. A., & Samborska, K. (2021). Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. Trends in Food Science & Technology, 109, 632-646.

Jafari, S. M. (2017). Nanoencapsulation of food bioactive ingredients: Principles and applications. Academic Press - Elsevier, London.

Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., & He, Y. (2008). Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. Food Research International, 41, 172-183.

Jain, A., Thakur, D., Ghoshal, G., Katare, O. P., & Shivhar, U. S. (2016). Characterization of microencapsulated β-carotene formed by complex coacervation using casein and gum tragacanth. International Journal of Biological Macromolecules, 87, 101-113.

Jansook, P., Ogawa, N., & Loftsson, T. (2018). Cyclodextrins: Structure physicochemical properties and pharmaceutical applications. International Journal of Pharmaceutics, 535, 272-284.

Jeon, W. Y., Yu, J. Y., Kim, H. W., & Park, H. J. (2021). Production of customized food through the insertion of a formulated nanoemulsion using coaxial 3D food printing. Journal of Food Engineering, 311, 110689.

Jiang, T., Liao, W., & Charcosset, C. Recent advances in encapsulation of curcumin in nanoemulsions: A review of encapsulation technologies, bioaccessibility and applications. (2020). Food Research International, 132(4).

Jones, D., Caballero, S., & Davidov-Pardo, G. (2019). Bioavailability of nanotechnology-based bioactives and nutraceuticals. Advances in Food and Nutrition Research, 88, 235-273.

Joyce, P., Gustafsson, H., & Prestidge, C.A. (2018). Enhancing the lipase-mediated bioaccessibility of omega-3 fatty acids by microencapsulation of fish oil droplets within porous silica particles. Journal of Functional Foods, 47, 491-502.

Jun-Xia, X., Hai-yan, Y., & Jian, Y. (2011). Microencapsualtion of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic. Food Chemistry, 125(4), 1267-1272.

Jyothi, S. S., Seethadevi, A., Prabha, K. S., Muthuprasanna, P., & Pavitra, P. (2012). Microencapsulation: A review. International Journal of Pharma and Bio Science, 3(1), 509-531.

Kaderides, K., & Goula, A. M. Development and characterization of a new encapsulating agent from orange juice by-products. Food Research International, 100, 612-622.

Kandylis, P., Dimitrellou, D. & Moschakis, T. (2021). Recent applications of grapes and their derivatives in dairy products, Trends in Food Science & Technology, 114, 2021, p. 696-711.

Kailasapathy, K., & Sureeta, B. S. (2004). Effect of storage on shelf life and viability of freeze dried and microencapsulated Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium infantis cultures. Australian Journal of Dairy Technology, 59(3), 204-208.

Kailasapathy, K. (2002). Microencapsulation of probiotic bacteria: Technology and potential applications. Current Issues in Intestinal Microbiolgy, 3, 39-48.

Kaminski, G. A. T., Silvério, L. C., Pasqualim, P., Fin, M. T., Sasso, D. G. B., Fujiwara, G. M., … & Zanin, S. M. W. (2020). Avaliação da influência da variabilidade de óleos no microencapsulamento de fármacos hidrofílicos de baixo peso molecular por emulsificação a/o. Visão Acadêmica, 11(1), 45-54.

Katouzian, I., Esfanjani, A. F., Jafari, S. M., & Akhavan, S. (2017). Formulation and application of a new generation of lipid nano-carriers for the food bioactive ingredients. Trend in Food Science & Technology, 68, 14-25.

Keykhosravy, K., Khanzadi, S., Hashemi, M., & Azizzadeh, M. (2020). Chotisan-loaded nanoemulsion containing Zataria Multiflora Boiss and Bunion persicum Boiss essential oils as edible coatings: its impact on microbial quality of turkey meat and fate of inoclulated pathogens. International Journal of Biological Macromolecules, 150, 904-913.

Khan, S., Shaharyar, M., Fazil, M., Baboota, S., & Ali, J. (2016). Tacrolimus-loaded nanostructured lipid carriers for oral delivery o optimization of production and characterization. Europen Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 108, 277-288.

Khorasani, S. et al. 3.32 - Recent Trends in the Nanoencapsulation Processes for Food and Nutraceutical Applications. Innovative Food Processing Technologies, p. 532–545, 2021.

Khosa, A., Reddi, S., & Saha, R. N. (2018). Nanoestructured lipid carriers for site-specific drug delivery. Biomedicine & Pharmacotherapy, 103, 598-613.

Khoshakhlagh, K., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Allafchian, A. (2017). Development and characterization of electrosprayed Alyssum homolocarpum seed gum nanoparticles for encapsulation of d-limonene. Journal of Colloid and Interface Science, 490, 562-575.

Kılıç, B., Simsek, A., Claus, J. R., & Atilgan, E. (2014). Encapsulated phosphates reduce lipid oxidation in both ground chicken and ground beef during raw and cooked meat storage with some influence on color, pH, and cooking loss. Meat Science, 97(1), 93-103.

Khorasani, S. et al. 3.32 - Recent Trends in the Nanoencapsulation Processes for Food and Nutraceutical Applications. Innovative Food Processing Technologies, p. 532–545, 2021.

Konur, S. et al. Towards design and implementation of Industry 4.0 for food manufacturing. Neural Computing and Applications, v. 0123456789, 2021.

Koupantsis, T., Pavlidou, E., & Paraskevopoulou, A. (2014). Flavour encapsulation in milk proteins – CMC coacervate-type complexes. Food Hydrocolloids, 37, 134-142.

Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. Carbohydrate Polymers, 61, 95-102.

Krithika, V., Radhai, S., Ravindra, N., & Thirupathi, V. (2014). Microencapsulation of paprika (Capsicum annum L) oleoresin by spray drying. International Journal of Scientific Engineering and Research, 5, 971-980.

Kumar, A., & Kumar, D. (2016). Development of antioxidant rich fruit supplemented probiotic yogurts using free and microencapsulated Lactobacillus rhamnosus culture. Journal Food Science Technology, 53 (1), 667-675, 2016.

Kumar, N., Verma, A., & Mandal, A. Formation, characteristics and oil industry applications of nanoemulsions: A review. Journal of Petroleum Science and Engineering, 206(7), 109042.

Laing, D. G., & Jinks, A. (1996). Flavour perception mechanisms. Trends in Food Science and Technology, 7, 387-389.

Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015) Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (Oryza sativa L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. LWT-Food Science and Technology, 64(1), 405-411.

Le, T. N., Chiu, C. H., & Hsieh, P. C. (2020). Bioactive Compounds and Bioactivities of Brassica oleracea L. var. Italica Sprouts and Microgreens: An Updated Overview from a Nutraceutical Perspective. Plants, 9, 1-23.

Ledward, D. A. Gelatin In: Phillips, G. O.; Williams, P. A. (2000). Handbook of hydrocolloids. Inglaterra: Woodhead Publishing Limited, cap. 4.

Lee, S. J., & Wong, M. (2014). Nano-and Microencapsulation of Phytochemicals. Nano-and Microencapsulation for Foods, 117-165.

Letchford, K., & Burt, H. A review of the formation and classification of amphiphilic block copolymer nanoparticulate structure: Micelles, nanospheres, nanocapsules and polymersomes. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 65(3), 259-269.

Li, H., Li, S., Li, Z., Zhu, Y., & Wang, H. (2017). Microcápsulas híbridas de polissulfona / SiO2 sintetizadas pela combinação da emulsificação por pickering e a técnica de evaporação de solvente e sua aplicação em compósitos autolubrificantes. Langmuir, 33 (49), 14149-14155.

Li, X., Anton, N., Arpagaus, C., Belleteix, F., & Vandamme, T. F. (2010). Nanoparticles by spray drying using innovative new technology: the Büchi Nano Spray Dryer B-90. Journal of Controlled Release, 147, 304-310.

Li, Y. O., González, V. P. D., & Diosady, L. L. (2014), Microencapsulation of vitamins, minerals, and nutraceuticals for food applications. Gaonkar, A. G., Vasisht, N., Khare, A. R., Sobel R. (Eds.), Microencapsulation in the food industry, Academic Press, San Diego, 501-522.

Li, Y., Yokoyama, W., Xu, S., Zhu, S., Ma, J., & Zhong, F. (2017). Formation and stability of W/O microemulsion formed by food grade ingredients and its oral delivery of insulin in mice. Journal of Functional Foods, 30, 134-141.

Lim, W-T., & Nyam, L-L. (2016). Characteristics and controlled release behaviour of microencapsulated kenaf seed oil during in-vitro digestion. Journal of Food Engineering, 182, 26-32.

Limeres, M., Suñé-Pou, M., Prieto-Sánchez, S., Moreno-Castro, C., Nusblat, A. D., Hernández-Munain, C., ... & Cuestas, M. L. (2019). Development and characteriization of an improved formulation of cholesteryl oleate-loaded cationic solid-lipid nanoparticles as an efficient non-viral gene delivery system. Colloids Surface B: Biointerface, 184, 110533.

Liu, Q., Cai, W., Zhen, T., Ji, N., Dai, L., Xiong, L., & Sun, Q. (2020). Preparation of debranched starch nanoparticles by ionic gelation for encapsulation of epigallocatechin gallate. International Journal of Biological Macromolecules, 161, 481-491.

Liu, J., Niu, J., Yin, L., & Jiang, F. (2011). In situ encapsulation of laccase in nanofibers by electrospinning for development of enzyme biosensors for clorophenol monitoring. Analyst, 136, 4802-4808.

Lopes, K. S. R., Santos, G. P., de Lima, J. E. A., & Holz, J. P. (2020). Estudo sobre a poluição plástica e análise de micropartículas na água tratada de Porto Alegre/RS. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 9, 570-587.

Madene, A., Jacquot, M., Scher, J, Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. International Journal of Food Science and Technology, 41,1-21.

Madhi, E. S., Sakeena, M. H. F., Abdulkarim, M. F., Abdullah, G. Z., Sattar, M. A., & Noor, A. M. (2011). Effect of surfactant and surfactant blends on pseudoternary phase diagram behavior of newly synthesized palm kernel oil esters. Drug Design, Development and Therapy, 5, 311-323.

Mahdavi, S. A., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. International Journal of Biological Macromolecules, 85, 379-385.

Maia, P. D. D. S., Baião, D. S., Silva, V. P. F. da, Miguel, M. A. L., Lacerda, E. C. Q., Calado, V. M. A., ... & Pierucci, A. P. T. R. (2020). Microencapsulation of a craft beer, nutritional composition, antioxidant stability, and drink acceptance. LWT - Food Science and Technology, 133, 110104.

Malik, N., Muttakin, S., Lopez-Quiroga, E., Watson, N. J., Fryer, P. J., Bakalis, S., & Gouseti, O. (2020). Microstructure and reconstitution of freeze-dried gum Arabic at a range of concentrations and primary drying temperatures. Food Hydrocolloids, 104.

Malmo, C., La Storia, A., & Mauriello, G. (2013). Microencapsulation of Lactobacillus reuteri DSM 17938 cells coated in alginate beads with chitosan by spray drying to use as a probiotic cell in a chocolate souffle. Food and Bioprocess Technology, 6(3), 795-805.

Matos Junior, F. E., Comunian, T. A., Thomazini, M., & Fávaro-Trindade, C. S. (2017). Effect of feed preparation on the properties and stability of ascorbic acid microparticles produced by spray chilling. LWT - Food Science and Technology, 75, 51-260.

Matos Junior, F. E., Sabatino, M. D., Passerini, N., Fávaro-Trindade, C. S., & Albertini, B. (2015). Development and characterization of solid lipid microparticles loaded with ascorbic acid and produced by spray congealing. Food Research International, 67, 52-59.

Mazumder, A. R., & Ranganathan, T. V. (2020). Encapsulation of isoflavone with milk, maltodextrin and gum acacia improves its stability. Current Research in Food Science, 2, 77-83.

Mazzocato, M. C., Thomazini, M., & Favaro-Trindade, C. S. (2019). Improving stability of vitamin B12 (Cyanocobalamin) using microencapsulation by spray chilling technique. Food Research International, 126.

McClements, D. J. (2012). Crystals and crystallization in oil-water emulsions: Implications for emulsion-based delivery. Advances in Colloid and Interface Science, 174, 1-30.

Mcclements, D. J. (2020). Nanotechnology Approaches for Improving the Healthiness and Sustainability of the Modern Food Supply. American Chemical Society, 5, 29623-29630.

McClements, D. J. (2014). Nanoparticle-and microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active compounds. CRC Press.

Mehran, M., Masoum, S., & Memarzadeh, M. (2020). Microencapsulation of Mentha spicata essential oil by spray drying: Optimization, characterization, release kinetics of essential oil from microcapsules in food models. Industrial Crops and Products, 154.

Melo, E. de A., Maciel, M. I. S., Lima, V. L. A. G. de, & Nascimento, R. J. do. (2008). Capacidade antioxidante de frutas. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, 44(2), 193-201.

Mirchandani, Y., Patravale, V. B., & Brijesh, S. (2021). Solid lipid nanoparticle for hydrophilic drugs. Journal of Controlled Release, 335, 457-464.

Mirzavi, F., Barati, M., Soleimani, A., Vakili-Ghartavol, R., Jaafari, M. R., & Soukhtanloo, M. A review on liposome-based therapeutic approaches against malignant melanoma. International Journal of Pharmaceutics, 599, 120413.

Michalska, A., Wojdylo, A., Brzezowska, Majerska, J., & Ciska, E. (2019). The influence of inulin on the retention of polyphenolic compounds during the drying of blackcurrant Juice. Molecules, 24, 1-19.

Molet-Rodríguez, A., Turmo-Ibarz, A., Salvia-Trujillo, L., & Martín-beloso, O. (2021). Incorporation of antimicrobial nanoemulsions into complex foods: a case study in an apple juice-based beverage. LWT- Food Science and Technology, 141(6), 110926.

Moreira, B. G. M., & Pesenti, M. C. (2018). Microencapsulamento por Spray Dryer de antocianinas extraídas do bagaço de uva BRS violeta (Vitis labrusca). 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

Moreira, A., Lawson, D., Onyekuru, L., Dziemidowicz, k., Angkawinitwong, U., Costa, P.F., ... & Williams, G. R. (2021). Protein encapsulation by electrospinning and electrospraying. Journal of Controlled Release, 329, 1172-1197.

Morgan, C. A., Herman, N., White, P. A., & Vesey, G. (2006). Preservation of micro-organisms by drying: A review. Journal of Microbiological Methods, 66, 183-193.

Mudalip, S. K. A., Khatiman, M. N., Hashim, N. A., Man, R. C., & Arshad, Z. I. M. (2021). A short review on encapsulation of bioactive compounds using different drying techniques. Materials Today: Proceedings, 42(1), 288-296.

Muller, J. M., Santos, R. L. dos, & Brigido, R. V. (2011). Produção de alginato por microrganismos. Polímeros, 21(4), 305-310.

Nami, Y., Lornezhad, G., Kiani, A., Abdullah, N., & Haghshenas, B. (2020). Alginate-persian gum-prebiotics microencapsulation impacts on the survival rate of Lactococcus lactis ABIINW-19 in orange juice. LWT- Food Science and Technology, 124, 109190.

Nesterenko, A., Alric, I., Violleau, F., Silvestre, F, & Durrieu, V. (2013). A new way of valorizing biomaterials: The use of sunflower protein for α-tocopherol microencapsulation. Food Research International, 53, 115-124.

Nguyen, T. X., Huang, L., Gauthier, M., Yang, G., & Wang, Q. (2016). Recent advances in liposome surface modification for oral drug delivery. Nanomedicine, 11(9), 1168-1185.

Noël J. M., & Lemineur J. F. (2021). Optical microscopy to study single nanoparticles electrochemistry: From reaction to motion. Current Opinion in Electrochemistry, 25.

Nunes, G. L., Boaventura, B. C. B., Pinto, S. S., Verruck, S., Murakami, F. S., Prudêncio, E. S, & Amboni, R. D. de M. C. (2015). Microencapsulation of freeze concentrated Ilex paraguariensis extract by spray drying. Journal of Food Engineering, 151, 60-68.

Oetjen, G. W., & Haseley, P. (2004). Freeze-druing. (2004). 2ed. Wiley-VCH: Germany.395p.

Okuro, P. K., Matos Junior, F. E., & Favaro-Trindade, C. S. (2013). Technological challenges for spray chilling encapsulation of functional food ingredients. Food Technol. Biotechnol., 51, 171-182.

Oliveira, J. P., Barroso, L. A. B., Julio, A., Caparica, R., Macedo, M. J., Silva, F. N., ... & Costa, J. M. G. (2019). Preparation and characterization of microparticles loaded with seed oil of Caatinga passion fruit obtained by spray drying. Biomedical and Biopharmaceutical Research Journal, 16, 97-104.

Oliveira, F. F. D. de, Monteiro, M. S. de S. B., Menezes, L. R., Feitas, I. de, & Tavares, M. I. B. (2019). Avaliação da influência do método de secagem nas propriedades de partículas poliméricas de poli (ácido lático). Semioses, 13(3), 1-12.

Oliveira, G. S. de, Costa. R. O. de A., Pais, T. dos S., Gomes, A. F. T., Matias, L. L. R., Medeiros, A. F. de, ... & Passos, T. S. (2019). Caracterização físico-química de inibidor de tripsina isolado de sementes de tamarindo (Tamarindus indica l.) Nanoencapsulado em proteína do leite isolada. Brazilian Journal of Health Review, 2(4), 3026-3031.

Oliveira, M. N. de, Sivieri, K., Alegro, J. H. A., & Saad, S. M. I. (2002). Aspectos tecnológicos de alimentos funcionais contendo probióticos. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, 38(1), 1-21.

Oliveira, O. W., & Petrovick, P. R. (2010). Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações (in Portuguese). Brazillian Journal Pharmacognosy, 20, 641-650.

Ormachea, O., & Villazón, A. (2017). Desarrollo de un microscopio de epifluorescencia de bajo costo. Investigación & Desarrollo, 1(17), 5-14.

Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2006). Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality. Springer Science & Business Media, New York, p. 372.

Otarola, J., Molina, P. G., Garrido, M., & Correa, N. M. (2021). Spectroscopic characterization and general features of piroxicam encapsulated in nanoestructured lipid carriers. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 616, 126340.

Ozdal, M., Ozdal, O.G., Sezen, A., Algur, O.F., Kurbanoglu, E.B. (2017). Continuous production of indole-3-acetic acid by immobilized cells of Arthrobacter agilis. 3 Biotech, 7, 23.

Ozdal, T., Yolci-Omeroglu, P., & Tamer, E. C. (2020). Role of encapsulation in functional beverages. In: Biotechnological Progress and Beverage Consumption.

Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019) A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. Food Chemistry, 272, 494-506.

Pal, N., Mandal, A. (2021). Compositional simulation model and history-matching analysis of surfactant-polymer-nanoparticle (SPN) nanoemulsion assisted enhanced oil recovery. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 122, 1-13.

Paredes, A. J. et al. Nanoencapsulation in the food industry: manufacture, applications and characterization. Journal of Food Bioengineering and Nanoprocessing, v. 1, n. 1, p. 56–79, 2016.

Paramo, L. A., Feregrino-Pérez, A. A., Guevara, R., Mendoza, S., & Esquivel, K. (2020). Nanoparticles in agroindustry: applications, toxicity, challenges, and trends. Nanomaterials, 10, 1-33.

Pasin, B. L., Azón, C. G., & Garriga, A. M. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1), 130-151.

Pasqualim, P., Culpi, T. A., Kaminski, G. T. A., Fin, M. T., Sasso, D. G. B., Costa, C. K., ... & Zanin, S. M. W. (2020). Microcápsulas de alginato de cálcio e óleo vegetal pela técnica de gelificação iônica: Um estudo da capacidade de encapsulamento e aplicação dermatológica. Visão Acadêmica, 11(1), 23-37.

Paswan, S. K & Saini, T. R. (2017). Purification of Drug Loaded PLGA Nanoparticles Prepared by Emulsification Solvent Evaporation Using Stirred Cell Ultrafiltration Technique. Pharmaceutical Research, 34, 2779-2786.

Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Barba, f. j., Putnik, D. B. K., Kovacevic, D. B., & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of Promising Bioactive Compounds to Improve Their Absorption, Stability, Functionality and the Appearance of the Final Food Products. Molecules, 26, 1-26.

Patra, J. K., Das, G., Fraceto, L. F., Campos, E. V. R., Rodriguez-Torres, M. del P., Acosta-Torres, L. S., ... & Shin, H-S. (2018). Nano based drug delivery systems: Recent developments and future prospect. Journal of Nanobiotechnology, 16(71), 1-33.

Patrignani, F., Siroli, L., Serrazanetti, D. I., Braschi, G., Betoret, E., Reinheimer, J. A., & Lanciotti, R. (2017). Microencapsulation of functional strains by high pressure homogenization for a potential use in fermented milk. Food Research International, 97, 250-257.

Paucar, O. C., Tulini, F. L., Thomazini, M., Balieiro, J. C. C., Palone, E. M. J. A., & Fávaro-Trindade, C. S. (2016). Production by spray chilling and characterization of solid lipid microparticles loaded with vitamin D-3. Food and Bioproducts Processing,100, 344-350.

Peixoto, R. de S., Lima, K. E. R., Macedo, P. V. A., Silva, R. L. C. da, Girão, S. G. de B., Viana, M. R. A., ... & Mendes, T. A. D. (2020). Infiltrante resinoso como tratamento de cárie em esmalte: Uma revisão de literatura integrativa. Brazilian Journal of Development, 6(5), 32174-32183.

Pereira, K. C. P., Ferreira, D. C. M., Alvarenga, G. F., Pereira, M. S. S., Barcelos, M. C. S., & Costa, J. M. G. da. (2018). Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. Brazilian Journal of Food Technology, 21, e2017083.

Perez, R., Gaonkar, A. G. (2014). Commercial applications of microencapsulation and cotrolled delivery in food and beverage products. MicroencapsulationIn the food industry. 543-549.

Pineda-Reyes, A. M., Delgado, M. H., Zambrano- Zaragosa, M de la L., Leyva-Gómez, G., Mendoza-Muñoz, N., Quintanar-Guerreo, D. (2021). Implementation of the emulsification-diffusion method by solvent displacement for polystyrene nanoparticles prepared from recycled material. Royal Society of Chemistry, 11,2226-2234.

Pikal, M. J., Shah, S., Roy, M. L., Putman, R. (1990). The secondary drying stage of freeze drying: Drying kinetics as a function of temperature and chamber pressure. International Journal of Pharmaceutics, 60(3), 203-207.

Pillai, D. S., Prabhasankar, P., Jena, B., & Anandharamakrishnan, C. (2012). Microencapsulation of Garcinia cowa fruit extract and effect of its use on pasta process and quality. International Journal of Food Properties, 15(3), 590-604.

Polônio, M. L. T., & Peres, F. (2009). Consumo de aditivos alimentares e efeitos à saúde: desafios para a saúde pública brasileira. Caderno de Saúde Pública, 25(8), 1653-1666.

Poncelet, D. (2006). Microencapsulation: Fundamentals, methods and applications. In Paper presented at the Surface Chemistry in Biomedical and Environmental Science, Dordrecht.

Quispe-Condori, S., Saldaña, M. D. A., & Temelli, F. (2011). Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. LWT - Food Science and Technology, 44 (9), 1880-1887.

Raddatz, G. C., Poletto, G., Menezes, C. R. (2022). Chapter 7 - Microencapsulation techniques to aggregate values in dairy foods formulation, Editor(s): Adriano Gomes da Cruz, C. Senaka Ranadheera, Filomena Nazzaro, Amir Mohammad Mortazavian, Dairy Foods, Woodhead Publishing,139-157.

Rajaei, A., Hadian, M., Mohsenifar, A., Rahmani-Cherati, T., & Tabatabaei M. (2017). A coating based on clove essential oil encapsulated by chitosan-myristic acid nanogel efficiently enhanced the shelf-life of beef cutlets. Food Packaging and shelf life, 14, 137-145.

Rajam, R., Kumar, S. B., Prabhasankar, P., & Anandharamakrisnan, C. (2015). Microencapsulation of Lactobacillus plantarum MTCC 5422 in fructooligosaccharide and whey protein wall systems and its impact on noodle quality. Journal Food Science Technology, 2(7), 4029-4041.

Ramezanzade, L., HosseiniS. F., & Nikkhah, M. (2017). Biopolymers-coated nanopolisomes as carriers of rainbow trout skin-derived antioxidant peptides. Food Chemistry, 1(234), 220-229.

Ramírez, M. J., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2015). Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. Powder Technology, 277, 89-96.

Ramos, P. E., Silva P., Alario, M. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Cerqueira, M. A., & Vicente, A. A. (2018). Effect of alginate molecular weight and M/G ratio in beads properties foreseeing the protection of probiotics. Food Hydrocolloids, 77, 8-16.

Rattes, A. L. R., & Oliveira, W. P. (2007). Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. Powder Technology, 171(1), 7-14.

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. Food Bioscience, 13, 76-83.

Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: applications in functional food industry. Trends in Food Science & Technology, 114, 1-10.

Ricaurte, L., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2019). Use of electrospinning technique to produce nanofibres for food industries: A perspective from regulations to characterisations. Trends in Food Science & Technology, 85, 92-106.

Rodenak-Kladniew, B., Islan, G. A., Bravo, M. G. de, & Durán, N., & castro, G. R. (2017). Design, characterization and in vitro evaluation of linalool-loaded solid lipid nanoparticles as potent tool in cancer therapy. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 154, 123-132.

Rodrigues, M. S. S., Brito, A. E. M., Medeiro, T. S., Apolinário, A. C., Rangel-Yagui, C. O., Pessoa, A., & Silva, J. A. (2018). Obtenção e caracterização de naopartículas de PLGA para veiculação intravenosa de proteínas. Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management, 13(1), 30-34.

Rodríguez, J., Martín, M. J., Ruiz, M. A., & Clares, B. (2016). Current encapsulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives. Food Research International, 83, 41-59.

Rodriguez-Amaya. D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. Current Opinion in Food Science, 7, 20-26.

Rodríguez-Roque, M. J., Sánchez-Vega, R., Aguiló-Aguayo, I., Medina-Antillón, A. E., Soto-Caballero, M. C., Salas-Salazar, N. A., & Valdivia-Nájar, C. G. (2021). Bioaccessibility and bioavailability of bioactive compounds delivered from microalgae. Cultured Microalgae for the Food Industry, 325-342.

Rosário, M. S. do, Gauto, M. I. R., Silva, A. C. L. N., Sales, J. S., Pereira, F. dos S, Santos, E. P. dos, ... & Costa, M. C. P. (2021). Estudo de estabilidade de emulsão cosmética com potencial de creme hidratante para o tratamento da xerose cutânea utilizando o óleo de babaçu (Orbignya phalerata martius). Brazilian Journal of Development, 7(3), 29552-29570.

Ruppel, C., Ribeiro, J. L., Zander, L. R. M., & Bombarda, N. H. C. (2018). Desenvolvimento e caracterização por MEV de micropartículas poliméricas contendo nistatina obtidas pelo método de spray drying. Archives of Health Investigation, 7.

S. Khorasani, A.P. Ghandehari Yazdi, E. Taghavi, M. Alipoor Amro Abadi, H. Ghobadi, B. Zihayat, B. Rasti, M.R. Mozafari. (2021). Recent Trends in the Nanoencapsulation Processes for Food and Nutraceutical Applications, Editor Kai Knoerzer, Kasiviswanathan Muthukumarappan, Innovative Food Processing Technologies, Elsevier, 532-545.

Sá, J. P. N. de, Santos, C. L. A. dos, Neto, O. L. de S., Figueiredo, C. H. A. de, Gadelha, H. S., & Alencar, M. C. B. de. (2018). A utilização dos nanocarreadores de principios ativos para alimentos. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, 12(1), 21-31.

Saberi, B., Chockchaisawasdee, S., Golding, J., Scarlett, C., Stathopoulos, C. (2017). Characterization of pea starch-guar gum biocomposite edible films enriched by natural antimicrobial agents for active food packaging. Food and Bioproducts Processing, 105, 51-63.

Safaya, M., & Rotliwala, Y. (2020). Nanoemulsions: a review on low energy formulation methods, characterization, applications and optimization techniques. MaterialsToday: Proceedings, 27, 454-459.

Santos, T., Okura, T. K., Sato, A. C. K., & Cunha, R. L. (2019). Nanoencapsulation and nanoemulsions: Preparation and apllications in the food industry. In: Food Applicatins and nanotechnology. 155-177.

Shahidi, F., & Han, X-Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33(6), 501-547.

Shoueir, K. R., El-Desouky, N., Rashad, M. M., Ahmed, M. K., Janowska, I., & El-Kemary, M. (2021). Chitosan based-nanoparticles and nanocapsules: Overview, physicochemical features, applications of a nanofibrous scaffold, and bioprinting. International Journal of Biological Macromolecules, 167, 1176-1197.

Saifullah, M., Shishir, M. R. I., Ferdowsi, R., Rahman, M. R. T., & Van Vuong, Q. (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. Trends in Food Science & Technology, 86, 230-251.

Salussoglia, A. I. P., Guerra, V. G., & Aguiar, M. L. (2021). Desempenho de filtração e determinação do diâmetro das nanofibras: influência do método de medição e microscópio eletrônico de varredura. Brazilian Journal of Development, 7(4), 36952-36969.

Sánchez, C. A. O., Zavaleta, E. B., García, G. R. U., Solano, G. L., & Díaz, M. P. R. (2021). Krill oil microencapsulation: Antioxidant activity, astaxanthin retention, encapsulation efficiency, fatty acids profile, in vitro bioaccessibility and storage stability. LWT - Food Science and Technology, 147, 111476.

Sanchez-Reinoso, Z., Osorio, C., & Herrera, A. (2017). Effect of microencapsulation by spray drying on cocoa aroma compounds and physicochemical characterization of microencapsulates. Powder Technology, 318, 110-119.

Santos, G. M., Maia, G. A., Souza, P. H. M., Figueiredo, R. W., Costa, J. M. C., & Fonseca, A. V. V. (2010). Atividade antioxidante e correlação com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. Ciência Rural, 40(7), 1636-1642.

Santos, P. D. F., Rubio, F. T. V. Balieiro, J. C. C., Thomazini, M., Favaro-Trindade, C. S. (2021). Application of spray drying for production of microparticles containing the carotenoid-rich tucumã oil (Astrocaryum vulgare Mart.). LWT - Food Science and Technology, v. 143, 111106.

Santos, V. S. dos, Fernandes, R. da S., Júnior, C. R. F., Aouada, F. A., Américo-Pinheiro, J. H. P, & Moura, M. R. de. (2021). Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e Cúrcuma longa. Revista Matéria, 26(1).

Saokham, P., Muankaew, C., Jasook, P., & Loftsson, T. (2018). Solubility of cyclodextrins and drug/cyclodextrincomplexes. Molecules, 23(5)1161.

Schafroth, N., Arpagaus, C., Jadhav, U.Y., Makne, S., Douroumis, D. (2012). Nano and microparticle engineering of water insoluble drugs using a novel spray-drying process. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 90, 8-15.

Schmid, K. (2011) Spray drying of protein precipitates and evaluation of the nano spray dryer B-90. PhD thesis. Ludwig-Maximilians-University, Munich.

Schmidt, L., Mattos, C. B. de, Jahno, V. D., Carone, C. L. P., Hoffmann, L. F., Oliveira, C. T., ... & Morisso, F. dal P. (2021). Avaliação da permeabilidade de luvas de látex utilizadas em laboratório para a manipulação de nanopartículas poliméricas. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração, 18, 0-0.

Schoubben, A., Blasi, P., Giovagnoli, S., Rossi, C., & Ricci. M. (2010). Development of a scalable procedure for fine calcium alginate particle preparation. Chemical Engineering Journal, 160(1), 363-369.

Semenova, M., Antipova, A., Martirosova, E., Zelikina, D., Palmina, N., & Chebotarev, S. Essential contributions of food hydrocolloids and phospholipid liposomes to the formation of carriers for controlled delivery of biologically active substances via the gastrointestinal tract. Food Hydrocolloids, 120.

Shahidi, F., & Han, X-Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33(6), 501-547.

Shao, P., Zhang, J., Fang, Z., & Sun, P. (2014). Complexing of chlorogenic acid with β-cyclodextrins: Inclusion effects, antioxidative, properties and potential application in grape juice. Food Hydrocolloids, 41, 132-139.

Shao, W., Pan, X., Liu, X., Teng, F., & Yuan, S. (2018). Microencapsulation of algal oil using spray drying technology. Food Technology & Biotechnology, 56(1), 65-70.

Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., & Panwar, H. (2017). Nanotechnology: An untapped resource for food packaging. Frontiers in Microbiology, 8, 1-22.

Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., ... & Niazi, S. (2016). Inulin: properties, health benefits and food applications. Carbohydrate Polymers, 147, 444-454.

Silva, F. M. R., da Silva, L. M. R., Duarte, A. S. G., Monteiro, C. E. S., Campos, A. R., Holanda, D. K. R., de Lima, A. C. S., Sabino, L. B. S., de Figueiredo, R. W. (2021). Microencapsulation of green tea extract (Camellia sinensis var assamica) to increase the bioaccessibility of bioactive compounds and gastroprotective effects. Food Bioscience, 101190.

Silva, J. T. do P., Leimann, F. V., & Gonçalves, O. H. (2015). Obtenção de micropartículas estruturadas contendo curcumina. Blucher Chemical Engineering Proceedings, 1(3), 1674-1679.

Silva, P. T. de, Fries, L. L. M., Menezes, C. R. de, Holkem, A. T., Schawn, C. L., Wigmann, E. F., ... & Silva, C. de B. da. (2014). Microencapsulação: conceitos, mecanismos, métodos e algumas aplicações em tecnologia de alimentos. Ciência Rural, 44(7), 1304-1311.

Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K., & Rather, I. A. (2017). Application of nanotechnology in food science: perception and overview. Frontiers in Microbiology, 8, 1-7.

Singh, Y., Meher, J. G., Raval, K., Khan, F. A., Chaurasia, M., Jain, N. K., & Chourasia, M. K. (2017). Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. Journal of Controlled Release, 252, 28-49.

Sobel, R., Versic, R., & Gaonkar, A. G. (2014). Introduction to microencapsulation and controlled delivery in foods. Microencapsulation in the food industry, 3-12.

Soleymanpour, Z., Nikzad, M., Talebnia, F., & Niknezhad, V. (2018). Xanthan gum production from acid hydrolyzed broomcorn stem as a sole carbon source by Xanthomonas campestris. 3 Biotech, 8, 1-12.

Sousa Júnior, J. R. de, Araújo, J. F. A., Pinto, I. F., & Nagashima Junior, T. (2021). Desenvolvimento de micropartículas de goma do cajueiro pela técnica de reticulação polimérica interfacial. Brazilian Journal of Health Review, 4(1), 399-410.

Souza, C., Freitas, L. A. P. de, & Campos, P. M. B. G. M. (2017). Topical formulation containing beeswax-based nanoparticles improved In vivo skin barrier function. Association of Pharmaceutical Scientists, 18(7), 2505-2516.

Souza, G. R. de, Moulin, E. do N., Santos, P. de O., Merson, A. Z., Souza, J. R. C. de L., Marques, F. C., & Souza, T. da S. de. (2020). Desenvolvimento de material encapsulante a partir da farinha seca e desengordurada de semente de goiaba. Brazilian Journal of Development, 6(12), 98027-98037.

Simões, L. de S., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, Ó. L. (2017). Micro - and nano bio - based delivery systems for food applications: In vitro behavior. Advances in Colloids and Interface Science, 243, 23-45.

Steiner, D., & Bunjes, H. (2021). Influence of process and formulation parameters on the preparation of solid lipid nanoparticles by dual centrifugation. International Journal of Pharmaceutics: X, 3, 100085.

Subramani, T., & Ganapathyswamy, H. (2020). An overview of liposomal nano-encapsulation techniques and its applications in food and nutraceutical. Journal Food Science and Technology, 57(10), 3545-3555.

Subtil, S. F., Rocha-Selmi, G. A., Thomazini, M., Trindade, M. A., Netto, F. M., & Favaro-Trindade, C. S. (2014). Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. Journal Food Science Technology, 51(9), 2014-2021.

Suganya, V., & Anuradha, V. (2017). Microencapsulação e nanoencapsulação: uma revisão. International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research , 9(3), 233-239.

Sun, X., Cameron, R. G., Manthey, J. A., Hunter, W. B., & Bai, J. (2020). Microencapsulation of Tangeretin in a citrus pectin mixture matrix. Foods, 9(1200), 1-12.

Sworn, G. Xanthan gum In: Phillips, G. O.; Williams, P. A. (2000). Handbook of hydrocolloids. Inglaterra: Woodhead Publishing Limited, cap. 6.

Tahara, K., Nishio, M., & Takeuchi, H. (2017). Evaluation of liposomal behavior in the gastrointestinal tract after oral administration using real-time in vivo imaging. Drug Development and Industrial Pharmacy, 44, 608-618.

Tan, C., Wang, J., & Sun, B. (2021). Biopolymer-liposome hybrid systems for controlled delivery of bioactive compounds: recent advances. Biotechnology Advances, 48.

Taneja, A., & Singh, H. (2012). Challenges for the delivery of long-chain n-3 fatty acids in functional foods. Annual Review of Food Science and Technology, 3(1), 105-123.

Tarone, A. G., Cazarin, C. B. B., & Junior, M. R. M. (2020). Anthocyanins: New techniques and challenges in microencapsulation. Food Research International, 133.

Tatar F., Tunc, M. T., Dervisoglu, M., Cekmecelioglu, D., & Kahyaoglu, T. Evaluation of hemicellulose as a coating material with gum arabic for food microencapsulation. Food Research International, 57, 168-175.

Tavares, G. M., Croguennec, T., Carvalho, A. F., & Bouhallab, S. (2014). Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends. Trends in Food Science & Technology, 37, 5-20.

Thakur, N., Raigond, P., Singh, Y., Mishra, T., Singh, B., Lal, M. K., & Dutt, S. (2020). Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. Trends in Food Science & Technology, 97, 366-380.

Tiede, K., Boxall, A. B. A., Tear, S. P., Lewis, J., David, H., & Hassellov, M. (2008). Detection and characterization of engineered nanoparticles in food and the environment. Food Additives Contaminants, 25(7), 795-821.

Timilsena, Y. P., Akanbi, T. O., Khalid, N., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2019). Complex coacervation: Principles, mechanisms and applications in microencapsulation. International Journal of Biological Macromolecules, 121, 1276-1286.

Tolve, R., Condelli, N., Caruso, M. C., Barletta, D., Favati, f., & Galgano, F. (2018). Fortification of dark chocolate with microencapsulated phytosterols: Chemical and sensory evaluation. Food Fuction, 9, 1265-1273.

Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. Food Research International, 44, 282-289.

Tsao, R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. Nutrients, 2, 1231-1246.

Turgeon, S., Schmitt, C., & Sanchez, C. (2007). Protein-polyssacaridecomplexes and coacervate. Current Opnion in Colloid & Interface Science, 12(4), 166-178.

Turkmen, N., Akal, C., & Özer, B. (2019). Probiotic dairy-based beverages: A review. Journal of Food Functional Foods, 53, 62-75.

Tyagi, V., Kaushik, S., Tyagi, S., & Akiyama, T. (2011) Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(2), 1373-1391.

Usman, M., Zhang, C., Patil, P. J., Mehmood, A., Li, X., Bilal, M., ... & Ahmad, S. (2021). Potential applications of hydrophobically modified inulin as an active ingredient in functional foods and drugs - A review. Carbohydrate Polymers, 252, 1-26.

Valério, R. B. R., Silva, N. A. da, Junior, J. R. P, Ferreira, V. M. S., Chaves, A. V., Forte, M. M. de C., ... & Abreu, F. O. M. da S. (2020). Influência das condições de reação na produção de nanopartículas no grau de encapsulamento do cardanol. Brazilian Journal of Development, 6(7), 52770-52786.

Vasconcelos, L. I. M., Silva-Buzanello, R. A. da, Kalschne, D. L., Scremin, F. R., Bittencourt, P. R. S., Dias, J. T. G., ... & Corso, M. P. (2021). Functional fermented sausages incorporated with microencapsulated Lactobacillus plantarum BG 112 in Acrycoat S100. LWT- Food Science Technology, 148, 111596.

Vater, C., Hlawaty, V., Werdenits, P., Cichón, M. A., Klang, V., Elbe-Burger, A., ... & Valenta, C. (2020). Effects of lecithin-based nanoemulsions on skin: Short-time cytotoxicity MTTand BrdU studies, skin penetration of surfactants and additives and the delivery of curcumin. International Journal of Pharmaceutics, 580, 119209.

Veloso, S. R. S., Andrade, R. G. D., & Castanheira, E. M. S. (2021). Magnetoliposomes: Recent advancesin the field of controlled drug delivery. Expert Opinion on Drug Delivery, 21, 1-12.

Vissotto, F. Z., Montenegro, F. M., Santos, J. M. dos, & Oliveira, S. J. R. de. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades fisicas de achocolatado em pó. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 26(3), 666-671.

Viol, L. C. D. S., Silva, F. O., Ferreira, D. L., Alves, J. L. A., & Schiavon, M. A. (2011). Precipitação seletiva de tamanhos em nanopartículas semicondutoras coloidais de CdTe e CdSe: um estudo por espectroscopia UV-VIS. Química Nova, 34(4), 595-600.

Vos, P. de, Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. International Dairy Journal, 20, 292-302.

Xiao, Z., Liu, W., Zhu, G., Zhou, R., & Niu. Y. (2014). A review of the preparation and application of flavour and essential oils microcapsules based on complex coacervation technology. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94, 1482-1494.

Xue, J., Su, F., Meng, Y., Guo, Y. (2019). Enhanced stability of red-fleshed apple anthocyanins by copigmentation and encapsulation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(7), 3381-3390.

Yan, C. & Zhang, W. (2014). Coacervation Processes. A.G. Gaonkar, N. Vasisht, A.R. Khare, R. Sobel (Eds.), Microencapsulation in the Food Industry, Elsevier Inc. (2014), 125-137.

Zamani-Ghaleshahi, A., & Rajabzadeh, G. (2019). Influence of sodium alginate and genipin on physico-chemical properties and stability of WPI coated liposomes. Food Research International, 130(7), 1-11.

Zárate-Hernández, E., Hernández-Esquivel, R. A., & Pérez-Urizar, J. T. (2021). Microcápsulas y microesferas: una visión a la caracterización integral y aplicación para la liberación de medicamentos biotecnológicos. Ciencia UAT, 15(2), 21-36.

Zhang, R., Zhou, L., Li, J., Oliveira, H., Yang, N., Jin. W., ... & He, J. (2020). Microencapsulation of anthocyanins extracted from grape skin by emulsification/internal gelation followed by spray/freeze-drying techniques: Characterization, stability and bioaccessibility. LWT - Food Science and Technology, 123, 109097.

Zhang, X. L., Li, X., Liu, Y-N., & Zhang, F. (2015). Phenolic compounds from Origanum vulgare and their antioxidant and antiviral activities. Food Chemistry, 152, 300-306.

Zhu, C., Shoji, Y., McCray, S., Burke, M., Hartman, C. E., Chichester, J. A., & Lal, M. (2014). Stabilization of HAC1 influenza vaccine by spray drying: Formulation development and process scale-up. Pharmaceutical Research, 31(11), 3006-3018.

Zhu, H., Mettu, S., Cavalieri, F., & Ashokkumar, M. (2021). Ultrasonic microencapsulation of oil-soluble vitamins by hen egg white and green tea for fortification of food. Food Chemistry, 353, 129432.

Zhu, L., Tang, Y., & Wiang, Y. (2016). Constructing surfactante systems with the characteristics of Gemini and oligomeric surfactants through noncovalent interaction. Journal of Surfactants and Detergents, 19(2).

Zilberboim, R., Kopelman, I. J., & Talmon, Y. (1986). Microencapsulation by a dehydrating liquid: Retention of paprika oleoresin and aromatic esters. Journal of Food Science, 51(5), 1301-1306.

Zuidam, N. J., & Shimoni, E. (2010). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. Zuidam, N. J., Nedovic, V. (Eds.), Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing, 3-29.

Yaghmur, A., & Mu, H. (2021). Recent advances in drug delivery applications of cubosones, hexosomes, and solid lipid nanoparticle. Acta Pharmaceutica Sinica B, 11(4), 871-885.

Yilmaztekin, M., Levic, S., Kalusevic, A., Cam, M., Bugarski, B., Rakic, V., Nedovic, V. (2019). Characterization of peppermint (Mentha piperita L.) essential oil encapsulates. Journal of microencapsulation, 36(2), 109-119.

Youshia, J., Kamel, A. O., El Shamy, A., & Mansour, S. (2021). Gamma sterilization and in vivo evaluation of cationic nanoestructured lipid carriers as potential ocular delivery systems for antiglaucoma drugs. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 163, 105887.

Walia, N., Dasgupta, N., Ranjan, S., Chen, L., & Ramalingam, C. (2017). Fish oil based vitamin D nanoencapsulation by ultrasonication and bioaccessibility analysis in simulated gastro-intestinal tract. Ultrasonics-sonochemistry, 39, 623-635.

Wang, Y.C., Lu, Z., Lv, F., Bie, X. (2009). Study of microencapsulation of curcumin pigments by spray drying. European Food Research and Technology, 229, 391-396.

Wang, B., Adhikari, B., & Barrow, C. J. (2014). Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin–sodium hexametaphosphate using complex coacervation. Food Chemistry, 158, 358-365.

Wang, Y., Liu, W., Chen, X.D., Selomulya, C. (2016). Micro-encapsulation and stabilization of DHA containing fish oil in protein-based emulsion through mono-disperse droplet spray dryer. Journal of Food Engineering, 175, 74-84,

Wechtersbach, L., Ulrih, N. P., & Cigic, B. (2012). Liposomal stabilization of ascorbic acid in model systems and in food matrices. LWT – Food Science and Technology, 45(1), 43-49.

Weiss, J., & Decker, E. A., McClements, J., Kristbergsson, K., Helgason, T., & Awad, T. (2008). Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components. Food Biophisics, 3(2), 146-154.

Williams; P. A., & Phillips, G. O. (2000). Introduction to food hydrocolloids In: Williams; P. A.; Phillips, G. O. Handbook of hydrocolloids. Inglaterra: Woodhead Publishing Limited, cap. 1, 2000.

Yan, T., Zhu, S., Hui, W., He, J., Liu, Z., & Cheng, J. (2020). Chitosan based pH-responsive polymeric produg vector for enhanced tumor targeted co-delivery of doxorubicin and siRNA. Carbohydrate Polymers, 250, 116781.

Zhang, H., Jung, J., & Zhao, Y. (2016). Preparation, characterization, and evaluation of antibacterial activity of catechins and catechins-Zn complex loaded-chitosan nanoparticles of different particle sizes. Carbohydrate Polymers, 137, 82-91.

DOI: 10.36599/EDITPA-978-65-88890-35-6.009

CAPÍTULO 9

USO DA IRRADIAÇÃO COMO TECNOLOGIA NÃO TÉRMICA PARA A CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Elismara das Graças Costa[1], Poliana Mendes de Souza[1,*]

Resumo

A irradiação de alimentos é uma tecnologia emergente na conservação de alimentos, esse método se baseia na exposição do alimento a doses controladas de radiação e tem como finalidade aumentar a vida útil do alimento, retardar a maturação de frutas e combater pragas e insetos. Essa pesquisa teve como objetivo geral fazer uma revisão bibliográfica sobre o uso da irradiação, e como objetivos específicos abordar quais as fontes da radiação, princípios da tecnologia, rotulagem, onde ocorre o processo, vantagens e desvantagens e fazer um levantamento bibliográfico do uso da irradiação em carnes, cereais, laticínios, frutas e vegetais. Para a realização desse trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica, coletando os dados a partir de artigos, teses, livros, dissertações e etc. Foi possível concluir que o uso de irradiação em carnes, cereais, laticínios, frutas e vegetais é satisfatório, causando poucas alterações nutricionais e sensoriais nos alimentos e eliminando microrganismos, garantindo um alimento seguro aos consumidores.

Palavras-chaves: Tecnologia emergente; Irradiação; Alimentos.

[1]Engenharia de Alimentos - UFVJM, Diamantina, Minas Gerais, Brasil.
*email: poliana.souza@ict.ufvjm.edu.br

INTRODUÇÃO

Os alimentos estão sujeitos a perda de qualidade e redução da vida de prateleira, em função da atividade biológica presente, além disso, os mesmos são vulneráveis a processos deteriorantes e de contaminação, causadas principalmente por microrganismos, enzimas e reações de oxidação. Dessa forma, os métodos de conservação dos alimentos têm o objetivo aumentar a vida útil dos produtos através de técnicas que evitam alterações microbianas, enzimáticas, químicas e físicas, mantendo as características sensoriais e nutricionais. Atualmente, as tecnologias emergentes vêm ganhando destaque na preservação de alimentos, a irradiação ionizante é uma delas, esse método vem crescendo no mundo todo e consiste em submeter o alimento a doses controladas de radiação (MONDANEZ, 2012; NESPOLO, 2015; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Na radiação, apenas fonte de ^{60}Co e ^{137}Cs são consideradas para uso comercial, pois esses isótopos produzem raios gama de energias adequadas, sendo o ^{60}Co o mais utilizado. Essa tecnologia vem sendo estudada há vários anos, tendo seu uso regulamentado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) em 1963, onde passou a ter aplicações em farinha de trigo para desinfestação de insetos, já nas décadas de 80 e 90, novas regulamentações surgiram com intuito de estender a utilização desta tecnologia para outros alimentos (LAGUNAS-SOLAR, 1995; ORNELLAS,2006; SILVA; ROZA, 2010).

Alimentos como frutas, vegetais, carnes e leite são produtos que se não forem conservados adequadamente estragam rapidamente. Estes alimentos são ricos em nutrientes, apresentam condições de pH ideais, entre outros fatores que favorecem o desenvolvimento microbiano, portanto são produtos com a vida útil mais curta. Os cereais também estão sujeitos a durabilidade menor, devido a contaminação por fungos que começa ainda no campo e a ataques por pragas e insetos, o que irá prejudicar a safra. O uso de irradiação é aprovado e utilizado nesses alimentos, as doses variam de acordo com o alimento e o propósito. Em carnes reduz carga microbiana presente de forma geral; nas frutas e

vegetais retarda a maturação; em cereais reduz e/ou elimina microrganismos, combate parasitas e pragas que atacam as plantações; e em laticínios reduz microrganismos. As alterações nutricionais e sensoriais são mínimas após a radiação (MONDANEZ, 2012; NEOPROSPECTA, 2019; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

É uma tecnologia que pode ser considerada segura e eficiente, o seu uso vem avançando no mundo, mesmo que lentamente devido a interpretações equivocadas por parte dos consumidores, que podem estar relacionadas com a imagem negativa que a energia nuclear deixou em todo o mundo. É importante frisar que nesse procedimento somente o alimento é exposto à radiação, sem qualquer risco de contaminação radioativa (MONDANEZ, 2012; O'BEIRNE, 1989).

Diante do exposto, o presente estudo justifica-se pelo avanço do uso da irradiação de alimentos no mundo, com uma revisão contendo informações pertinentes ao assunto. Esse trabalho torna-se de relevância social e científica, que busca contribuir para a desmistificação sobre o uso dessa tecnologia, principalmente frente a falta de conhecimento do consumidor sobre os efeitos da irradiação nos alimentos.

2. IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Segundo Ladeira (1999) a radiação não é uma novidade criada pelo homem. Ela está presente em nossa vida diária, através da luz solar e de outros componentes naturais de nosso meio ambiente, tais como gases e presença de minerais radioativos no solo. Desouky et al. (2015) ressaltam que além das exposições médicas diagnósticas e terapêuticas, somos expostos cronicamente a radiação de fundo de raios cósmicos, resíduos radioativos, entre outros.

O uso da radiação em alimentos é conhecido desde a antiguidade, quando se costumava preservar carnes, peixes, frutas e vegetais através da energia solar. A ideia da utilização da radiação ionizante na conservação de alimentos surgiu após a descoberta dos Raios X por Roentgen e da radioatividade por Becquerel em, aproximadamente 1895, nesse mesmo ano uma revista alemã publicou um trabalho sugerindo o uso da radiação ionizante para destruir microrganismos. Em 1900, patentes começaram a ser emitidas nos Estados Unidos e no Reino Unido sobre o uso da radiação em alimentos (DEL MASTRO, 1999). Em 1921 foi usado pelos Estados Unidos da América para inativar um parasita humano, a *Trichinella spirallis*, que contaminava os músculos do porco (NUNES et al., 2014). De acordo com Silva et al. (2018) apesar do uso do raio X na carne de porco, o uso da radiação ionizante não tinha uma aplicação prática, porque as fontes de irradiação não eram intensas o bastante naquela época para tratar alimentos em quantidades comerciais.

A era moderna da aplicação de irradiação iniciou-se após a II Guerra Mundial, quando outras fontes ionizantes se tornaram disponíveis. Provada sua viabilidade técnica e comercial em alimentos, iniciou-se novas pesquisas visando à segurança e a aplicabilidade (DEL MASTRO, 1999). Em 1957, na Alemanha, ocorreu o primeiro uso comercial da irradiação em alimentos com elétrons, fazendo uso de um gerador Van der Graff. No quadro 1 são apresentados acontecimentos importantes para a irradiação de alimentos (SILVA et al., 2018).

Quadro 1- História da irradiação de alimentos

Ano	Evento
1905	Primeira patente para o uso de radiação ionizante em alimentos com pestes;
1920	Uso da irradiação por cientistas franceses para preservar os alimentos;
1921	Patente para o uso de raios X para matar *Trichinella spiralis* em carne;
1940	Testes para o uso da irradiação em alimentos comuns pelo Departamento Norte-americano do Exército;
1958	Definição da fonte de irradiação para o uso em processamento de alimentos;
1963	Uso da irradiação aprovada para o controle de insetos em trigo;
1964	Aprovação do uso da irradiação para estender a vida de prateleira de batatas;
1966	Departamento Norte-americano do Exército e o Departamento Norte-americano de Agricultura fizeram uma petição para aprovar a irradiação em presunto;
1970	Irradiação é adotada pela NASA para esterilizar alimentos para o programa espacial;
1980	Transferências do programa de irradiação de alimento do Departamento Norte-americano do Exército para o Departamento Norte-americano de Agricultura;
1983	Aprovado o uso da irradiação em especiarias e legumes secos para matar insetos e bactérias;
1985	Irradiação em baixas doses, foi aprovada para controlar a *Trichinella* na carne de porco;
1986	Irradiação em frutas e legumes foi aprovada para controlar insetos e promover a maturação;
1990-1992	Irradiação para o uso avícola no controle da Salmonela e bactérias foram aprovadas pela FDA e USDA, respectivamente;
1997	Irradiação foi aprovada para o uso em carne de boi e outras carnes;
2000	Permissão do uso da irradiação em carne crua e seus subprodutos refrigerados e congelados e em ovos para controlar a Salmonela.

Fonte: SILVA et al., (2018) apud OMAYE (2014). Adaptado

Atualmente, a irradiação de alimentos é um dos tratamentos mais estudados e avaliados em todo o mundo. A técnica consiste da exposição dos alimentos a uma fonte controlada de radiação ionizante, durante um determinado período de tempo. Esse processo pode ser feito com o alimento já embalado ou não, e tem como finalidade o combate à ação maléfica de microrganismos, e, em alguns casos, retardar o amadurecimento de alguns vegetais, especialmente frutas e legumes. O processo de irradiação não deixa resíduos no alimento nem libera material radioativo no meio ambiente e todo processo é monitorado para garantir a qualidade do alimento e preservação de suas qualidades sensoriais e nutricionais (LEVY et al., 2020; NUNES et al., 2014; TEZOTTO-ULIANA et al.,2015).

De acordo com Ornellas et al. (2006) apesar de toda aprovação e controle no emprego da irradiação, a aceitação do cliente e o custo de sua utilização são barreiras que impedem sua completa comercialização. Mais de 50 países aprovaram o uso de irradiação para pelo menos um alimento ou classe alimentícia, totalizando 60 tipos distintos de alimentos, com uma dose máxima dependente da finalidade do tratamento. Desses países, apenas 30 possuem instalações que irradiam alimentos, mas em alguns as instalações tratam apenas quantidades de pesquisa ou em escala piloto. A maioria dos alimentos irradiados é consumida no país de tratamento (ROBERTS, 2014). A grande maioria são países desenvolvidos ou estão em desenvolvimento, na Figura 1 é possível ver alguns dos países que aceitam (azul) e que são contra (cinza) a irradiação (SILVA et al., 2015).

Figura 1- Irradiação de alimentos no mundo



Fonte: Autoria própria, 2021.

A irradiação de alimentos é devidamente regulamentada no Brasil desde a década de 60, por meio de leis, decretos e normas emitidos por diversas entidades. Houve diversos avanços nessa área e atualmente amplia a possibilidade de comércio internacional (LEVY et al., 2020).

2.1. Tipos de irradiação

Segundo Tezotto-Uliana et al. (2015) o termo radiação designa o fenômeno físico pelo qual a energia radiante se move através do espaço ou matéria na forma de ondas eletromagnéticas. Para uso em alimentos, a técnica de irradiação mais utilizada é baseada no uso de uma faixa específica da energia eletromagnética conhecida como radiação ionizante (ANDREWS et al., 1998). Em 1981 a F*ood Agriculture Organization* (FAO), *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e *World Health Organization* (WHO) definiram que há três tipos de radiação ionizante e energias que podem ser utilizadas no tratamento de alimentos:

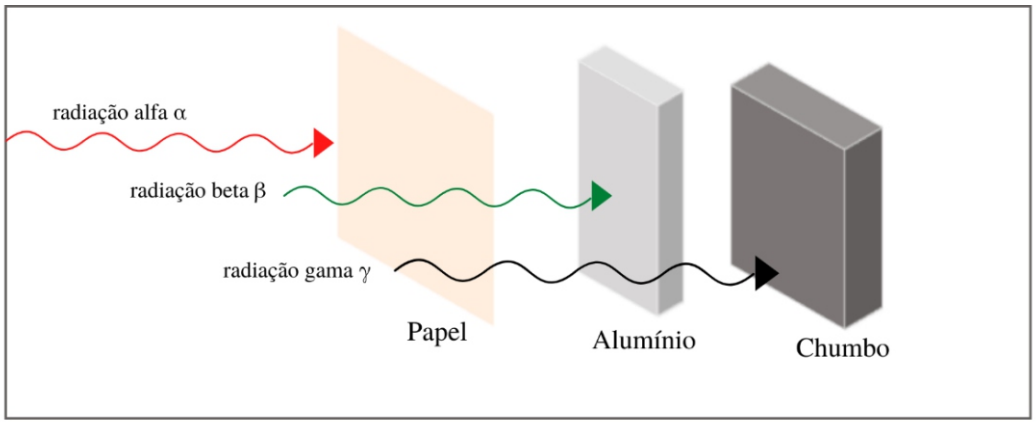
- Isótopos radioativos emissores de radiação gama: Cobalto 60 e Césio 137;
- Raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5 MeV;
- Elétrons gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10 MeV.

As radiações gama e raios X são de alta frequência com alto conteúdo de energia e têm o poder de quebrar moléculas em unidades de carga oposta denominadas íons; essas radiações são, portanto, chamadas de radiações ionizantes. Os raios gamas têm excelentes poderes de penetração, tendo um comprimento de onda curto, essa partícula consegue penetrar alimentos de até 30-40 cm de espessura (FORSYTHE, 1998; LADEIRA, 1999).

Os elétrons gerados por máquinas produzem feixes de elétrons de altas energias geradas por emissão termoiônica nos filamentos aquecidos, que são injetados num tubo e carregados por uma onda estacionária. Os elétrons não possuem poder de penetrabilidade alto na matéria, como a radiação gama ou raios X. Em alimentos é utilizado particularmente para tratamento de grãos e rações animais que podem ser processadas em camadas finas (FANTE, 2015).

Existem outros tipos de radiação disponíveis, como radiação alfa e beta, mas a radiação alfa não tem valor para irradiar alimentos, já que sua penetração é muito fraca e é interrompida até por uma folha de papel (FIG. 2), os raios beta também tem penetração fraca, sendo seu uso limitado a produtos finos (FORSYTHE, 1998).

Figura 2 - Penetração dos raios



Fonte: Autoria própria, 2021.

Outro tipo de radiação utilizada em alimentos, são as não-ionizantes, como o infravermelho, micro-ondas e aquecimento ôhmico. Estas fazem parte do espectro eletromagnético, e seus efeitos são estritamente térmicos, não causando alteração molecular no produto irradiado (ORDOÑEZ, 2005; WILLIAMS, 1993).

2.2. Raios Gama e o princípio da tecnologia

A radiação gama (γ) por definição terminológica corresponde a uma onda eletromagnética, proveniente do núcleo excitado de alguns elementos radioativos (SILVA, 2018). Fontes desse tipo de irradiação são o isótopo cobalto 60 e Césio 137, sendo o ^{60}Co o mais utilizado. Segundo Fante (2015) o ^{60}Co apresenta boa disponibilidade; possui forma metálica; é insolúvel em água; considerado seguro ambientalmente; e apresenta baixo custo em relação às demais fontes. Devido ao alto poder penetrante dessa fonte, ela pode ser utilizada em caixas cheias de alimentos que estejam frescos ou não.

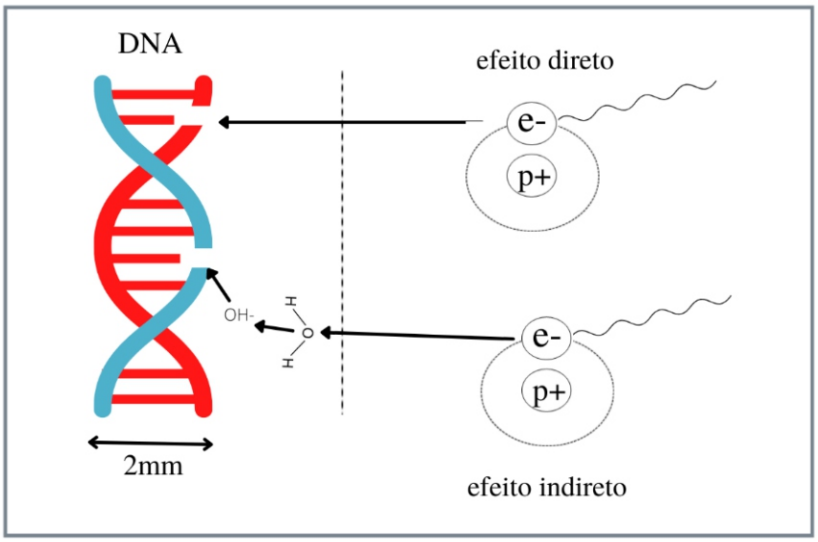
De acordo com Tezzotto-Uliana et al. (2014) a obtenção do ^{60}Co é a partir da alta purificação do ^{59}Co, que não é radioativo. Esse elemento, passa por um processo de purificação, para em seguida ser comprimido em pequenas cápsulas cilíndricas que são cuidadosamente encaixadas em tubos de aços limpos. Esses tubos são depositados em um reator nuclear onde são bombardeados constantemente com nêutrons, originando o ^{60}Co que é radioativo. Esse processo está descrito na equação 1 (OLIVEIRA et al., 2017).

$$5927Co + n \rightarrow 6027Co \quad (1)$$

A radiação gama irá ionizar a matéria, atuando sobre as moléculas biológicas que são compostas em maior parte por átomos de carbono, oxigênio, hidrogênio e nitrogênio. Ao irradiar um ser vivo, alguns elétrons possivelmente serão arrancados de átomos desses elementos, esse processo é prejudicial aos sistemas biológicos, podendo modificar moléculas como o DNA, que é uma estrutura muito sensível a radiação. A inativação de bactérias, leveduras e bolores resulta principalmente de danos ao DNA e as diferentes sensibilidades desses microrganismos a radiação é um reflexo da eficiência de seus mecanismos de reparo do DNA. É universalmente aceito que o DNA nos cromossomos representa o 'alvo' mais crítico para a radiação ionizante porque é responsável pela inibição da divisão celular. (AQUINO, 2012; GOPAL, 1978; MOSELEY apud FORSYTHE, 1998, pag.140, 1984; SILVA; DA SILVA; AQUINO, 2014; STEWART et al., 2012).

Desouky; Ding e Zhou (2015) afirmaram que os danos causados pela radiação à célula podem ser causados pela ação direta ou indireta da radiação sobre as moléculas de DNA. Na ação direta, o DNA da molécula é atingido diretamente pela radiação, o que causa uma perturbação na estrutura molecular (FIG. 3). Com a mudança sofrida na estrutura, podem ocorrer danos celulares ou mesmo a morte da célula. As células que sofreram modificações e sobreviveram podem mais tarde induzir carcinogênese ou outras anormalidades.

Figura 3 – Ação direta e indireta na célula microbiana

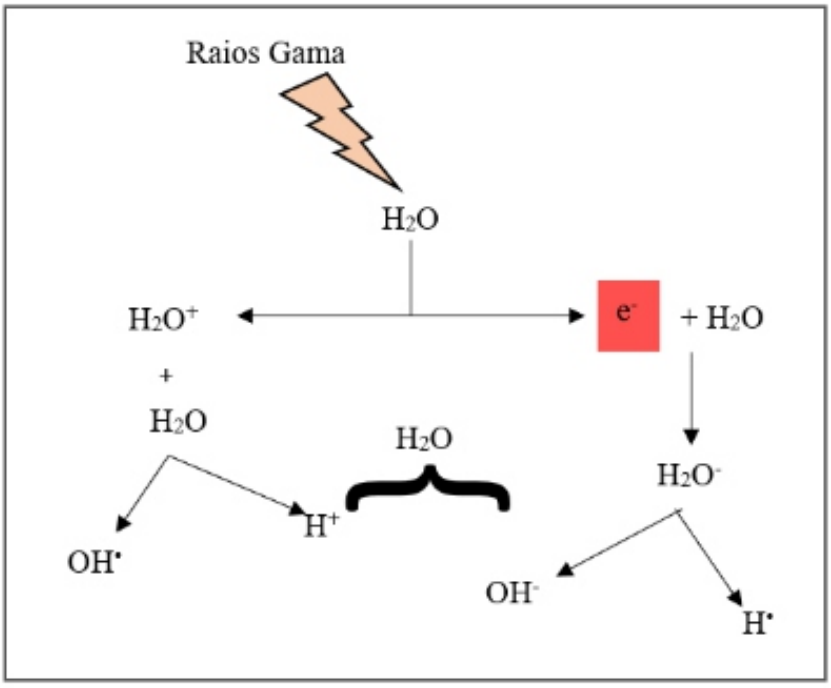


Fonte: Autoria própria, 2021.

Na ação indireta (FIG.3), as moléculas de água são atingidas pela radiação, sendo a água o principal constituinte da célula, a irradiação faz com que a água sofra radiólise (FIG.4), o que acaba produzindo radicais livres como o íon hidroxila (OH-) e os átomos de hidrogênio

(H), esses intermediários são altamente reativos, e reagem com as moléculas de DNA, o que leva a um dano estrutural ou morte da célula, sendo esse o resultado da ação indireta. Como a água constitui 70% da composição da célula, foi constatado que a maioria dos danos induzidos por radiação resulta do mecanismo de ação indireta, sendo o OH- o radical livre mais importante, responsável por 90% dos danos ao DNA (AQUINO, 2012; DESOUKY; DING; ZHOU, 2015; SAHA, 2013).

Figura 4- Radiólise



Fonte: Autoria própria, 2021.

2.3. Irradiação e microrganismos

A sensibilidade dos microrganismos à radiação varia enormemente (Tabela 1). As bactérias Gram negativas são geralmente mais sensíveis do que as Gram positivas com esporos bacterianos. Muitos microrganismos comuns a deterioração a alimentos (pseudomonas) e bactérias que causam intoxicação alimentar (salmonella) podem ser inativados com doses bem baixas de radiação. A radiação não consegue inativar vírus, enzimas, e toxinas fúngicas, pois são altamente resistentes à irradiação, uma vez que não contém material genético (FORSYTHE, 1998; OPAS, 2019).

Tabela 1 – Doses de irradiação em microrganismos

Microrganismos	Dose (kGy)
Bactéria gram negativa	
Escherichia coli	2
Salmonella enteridis	4
Vibrio parahaemolyticus	<1
Moraxella sp	7
Pseudomonas fluorescens	<1
Bactéria Gram Positiva	
Micrococcus sp	4
Staphylococcus aureus	5-10
Streptococcus faecalis	5
Leuconostoc sp	3
Bacillus sp (célula vegetativa)	3
Bacillus cereus (esporos)	25
Clostridium perfringens (esporos)	25
Clostridium botulinium A (esporos)	25
Bolores e Leveduras	
Aspergillus flavus	3
Candida sp	4
Saccharomyces cerevisiae	10
Vírus	>10

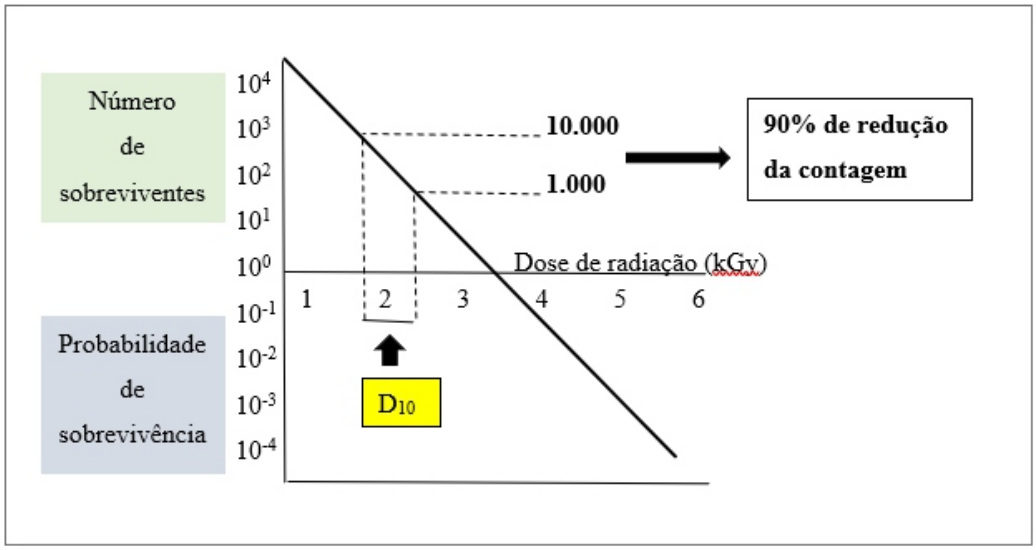
Fonte: FORSYTHE, (1998) apud ICMSF (1980)

A relação da inativação biológica dos microrganismos em função da quantidade de radiação necessária para se conseguir uma redução da carga microbiana ou atingir um nível de segurança de esterilização (SAL) é representada na Figura 5 (SILVA et al., 2014). O D_{10}, mostrado na figura 5, representa a dosagem essencial para inativar 90% da população microbiana, através dessa dose é possível definir a sensibilidade dos tecidos vivos a ação dos raios ionizantes (IAEA, 1982). Equação (2) cinética de primeira ordem é utilizada para descrever essa inativação (RODRIGUES, 2019).

$$log \frac{N}{N_0} = -\frac{1}{D_{10}} D \quad (2)$$

Onde,
N0 = população inicial
N = População depois da dose D
D = Dose de irradiação aplicada
D10 = Dose necessária para destruição de 90% da população microbiana

Figura 5 - Relação entre a dose de irradiação e a fração sobrevivente de microrganismos



Fonte: Autoria própria, 2021.

De acordo com FORSYTHE (1998), a morte bacteriana ocorre de forma logarítmica, então quanto mais bactérias (ou esporos) estiverem presentes no alimento, maior será a dose de radiação necessária para eliminá-los.

2.4. Dosagens de irradiação

Segundo Farenzena (2013) pelo SI a unidade para a radiação em alimentos é o Gray (Gy), sendo que 1 Gray corresponde a 1 Joule por quilograma (1 Gy = 1 J/Kg). Como a dosagem de radiação varia de um alimento para outro, os processos recebem as seguintes denominações: radapertização, radicidação ou radurização (OPAS, 2019):

- Radapertização: As doses requeridas nesse processo são elevadas e geralmente estão acima de 10 kGy. Normalmente o interesse nessa esterilização é para temperos e especiarias, os quais são frequentemente contaminados por bactérias esporulantes resistentes ao calor.
- Radicidação: São utilizadas doses entre 2 kGy a 8 kGy, essa dosagem é suficiente para reduzir o número de microrganismos viáveis, eliminando patógenos não formadores de esporos, como por exemplo, Salmonella spp.
- Radurização: Doses relativamente baixas são usadas (0,5 kGy a 2,5 kGy), para a destruição de leveduras, bolores e bactérias não esporulantes, dessa forma a vida útil do produto irradiado é aumentado. A refrigeração é geralmente usada como método de conservação associada (OPAS, 2019). O quadro 2 mostra a dosagem de radiação para alguns alimentos e sua finalidade (WHO,1988).

Quadro 2 – Irradiação e propósito

Alimentos	Dose (kGy)	Propósito
Batatas, cebolas, alho e etc.	0,05-0,15	Inibição de germinação;
Cereais e leguminosas, frutas secas, carne de porco, etc.	0,15-0,50	Desinfestação de insetos, desinfecção de parasitas e atraso do amadurecimento.
Peixe fresco, morangos, etc.	1,0-3,0	Aumento da vida útil, eliminação da deterioração e microrganismos patogênicos.
Frutos do mar frescos e congelados, etc.	1,0-7,0	
Carnes, aves, frutos do mar, dietas hospitalares esterilizadas.	30-50	Esterilização industrial (em combinação com leve aquecer).
Temperos, preparações enzimáticas, etc.	10-50	Descontaminação de certos aditivos alimentares e ingredientes.

Fonte: WHO, 1988

Segundo Ashraf et al. (2019) a alguns fatores que afetam a irradiação, como: meio, atividade da água, temperatura, congelamento e oxigênio:

- Meio: quanto mais complexo o meio, maior será a competição entre os componentes do meio pelos radicais livres formados pela água e pelas moléculas ativadas produzidas pela radiação, protegendo assim os microrganismos.

- Atividade de água: a redução de umidade, acaba prejudicando o rendimento de radicais livres produzidos a partir da água pela radiação, portanto, a ação indireta no DNA que os radicais livres causam é reduzida.

- Temperatura: a radiação sendo feita em temperatura maior que a dos sistemas de reparo do microrganismo, aumenta o efeito letal da radiação.

- Congelamento: a resistência à radiação microbiana em alimentos congelados é cerca de duas ou três vezes maior do que aquela a temperatura ambiente. Isso pode ser explicado, pelo fato que ocorre uma imobilização dos radicais livres, e a prevenção de sua difusão, os danos indiretos do DNA pelos radicais OH são quase evitados. Isso reforça a importância da umidade no processo de radiação.

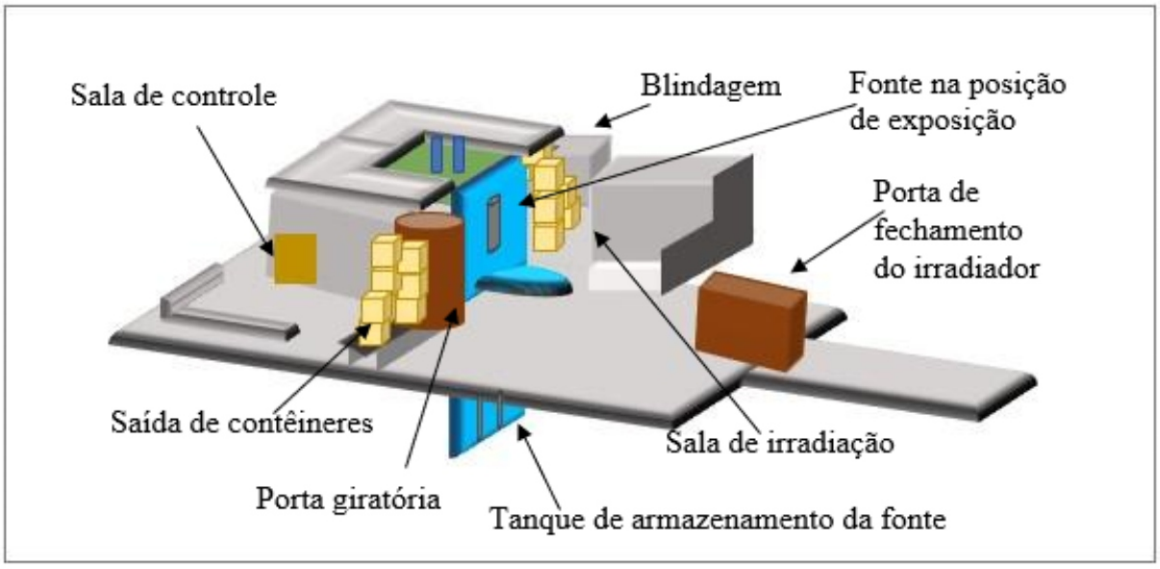
- Oxigênio: A presença de oxigênio favorece a letalidade da radiação, pois forma radicais peróxidos que causam danos ao DNA do microrganismo (TEZOTTO-ULIANA et al. 2015).

2.5. Irradiador

A irradiação dos alimentos é realizada em áreas apropriadas (FIG. 6) providas de sala de irradiação, piscina de armazenamento, sistema transportador, console de controle e depósito para separar o material irradiado. Para serem construídas e operadas, elas devem ser licenciadas e fiscalizadas por órgãos governamentais competentes (SILVA; DA ROZA, 2010; LADEIRA, 1999).

Ainda de acordo com Ladeira (1999) em instalação de irradiação, a fonte radioativa 60Co é encapsulada em tubos de aço inoxidável, parecidos com lápis, com diâmetro de aproximadamente 10 milímetros e 500 mm de comprimento. Quando o irradiador não está funcionando, a fonte fica imersa dentro de uma piscina, sendo a água uma das melhores blindagens contra a radiação, dessa forma os operadores ficam protegidos da exposição, quando tem que entrar na câmara. As paredes das instalações são de concreto, com espessura adequada para que a radiação não atinja o meio ambiente ou os operadores durante o funcionamento (LADEIRA, 1999).

Figura 6– Planta de um Irradiador



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os alimentos que serão irradiados, embalados ou a granel, são conduzidos ao interior da câmara de radiação, através de um sistema transportador fixo, o alimento recebe a dosagem adequada e \todo processo é feito em um ritmo controlado com precisão (LADEIRA, 1999; SILVA; DA ROZA, 2010).

2.6. Rotulagem de irradiados e legislação no Brasil

Segundo WHO (1988) um alimento irradiado não apresenta nenhuma característica, cheiro e/ou sabor que demonstre o tratamento sofrido. Devido a isso, o consumidor só saberá que o alimento foi processado com irradiação, mediante a um rótulo especificando o tratamento em palavras, um símbolo ou ambos. A rotulagem varia de país para país, mas há países que optam por seguir as diretrizes desenvolvidas pela Codex Alimentarius para a rotulagem. Onde todo alimento irradiado terá rótulo informando a irradiação e alimentos que contém um ou mais componentes que foram irradiados antes da incorporação no produto final também terão no rótulo a informação sobre a irradiação. O texto e o símbolo dependem de cada país, porém o símbolo chamado Radura (FIG.7) é o mais usado para demonstrar que houve irradiação no produto.

Figura 7 - Radura



Fonte: Autoria Própria, 2021.

De acordo com Ferreira et al. (2020) o Brasil segue as recomendações internacionais sugeridas pela FAO, IAEA e Codex Alimentarius (ANVISA, 2016). A primeira legislação brasileira que incluía alimentos irradiados foi o Decreto-Lei n°986/PR, de 21 de outubro de 1969, segundo Levy et al. (2020),

> A irradiação de alimentos é contemplada em duas instâncias: (1) sua definição, finalidade e a instituição do Ministério da Saúde como órgão competente para elaboração de normas; e (2) indicação na rotulagem, conforme consta em seu art. 19: "Os rótulos dos alimentos enriquecidos e dos alimentos dietéticos e de alimentos irradiados deverão trazer a respectiva indicação em caracteres facilmente legíveis."

Em 29 de agosto de 1973, é publicado o Decreto-Lei n°72.718, nele são estabelecidas normas gerais sobre irradiação de alimentos quanto a elaboração, armazenamento, transporte, distribuição, importação, exportação e exposição a venda ou entrega ao consumo de alimentos irradiados. No art. 3° é estabelecido "que a energia utilizada para irradiar alimentos, seja inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade no material irradiado", em seguida no art. 4° é decretado que "a irradiação só poderá ser efetuada por estabelecimentos devidamente licenciados pela autoridade competente e após autorização da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O art. 5° determina que "só poderão ser irradiados alimentos ou grupos de alimentos sobre os quais se disponha trabalhos técnicos e científicos, desenvolvido por instituições nacionais e internacionais". Quanto à rotulagem, o art. 8° atribui que as embalagens devem trazer a indicação "Alimento tratado por processo de irradiação" e a declaração "Este produto foi processado em estabelecimento sob controle da Comissão Nacional de Energia Nuclear" (BRASIL, 1973).

Na Portaria DINAL n°9, de 8 de março de 1985 MS (revogada), é aprovado normas gerais para irradiação de alimentos no Brasil, indicando para cada caso o tipo, nível e dose média de energia de radiação e o tratamento prévio, conjunto ou posterior. Limitam dose a 10 kGy. É proibido a re-irradiação (FERREIRA et al., 2020).

Os requisitos gerais para a irradiação de alimentos foram definidos na Resolução ANVISA – RDC n°21, de 26 de janeiro de 2001. O regulamento técnico para irradiação de alimentos determinou normas para as instalações e controle do processo de irradiação, é estabelecido que a irradiação não substitui as boas práticas de fabricação. Qualquer alimento poderá ser irradiado, desde que sejam observadas as seguintes condições: a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida, a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento. No rótulo deve constar o símbolo internacional denominado Radura e ser incluído os dizeres no painel principal: "ALIMENTO TRATADO POR PROCESSO DE IRRADIAÇÃO" (ANVISA, 2001; FERREIRA et al., 2020; SILVA,2018; NUNES et al., 2014).

2.7. Vantagens e desvantagens

Como toda tecnologia voltada para conservação de alimentos, a irradiação possui seus prós e contras. Além das melhorias óbvias na segurança de alimentos por meio da destruição de patógenos, a irradiação oferece outros benefícios, como o aumento da vida útil de alimentos (Tabela 2). A radiação gama é a única fonte de energia que pode iniciar as reações químicas em qualquer temperatura e fase (gás, líquido ou sólido) sem o uso de catalisadores. É um método que não eleva a temperatura do alimento, o que pode resultar

em menores alterações físicas e nutricionais. Sendo uma tecnologia de operação única, possibilitando a conservação de alimentos frescos serem conservados sem a necessidade de conservantes químicos, o alimento pode ser consumido, armazenado ou transportado após a irradiação. (LEVY et al., 2020; RODRIGUES, 2019; SILVA; DA SILVA; AQUINO, 2014; SMITH; PILLAI, 2004; SOUSA et al., 2013).

Tabela 2- Vida útil do produto após irradiação

Produto	Vida útil sem irradiação	Vida útil com irradiação
Alho	4 meses	10 meses
Arroz	1 ano	3 anos
Banana	15 dias	45 dias
Batata	1 mês	6 meses
Cebola	2 meses	6 meses
Farinha	6 meses	2 anos
Legumes e Verduras	5 dias	18 dias
Papaia	7 dias	21 dias
Manga	7 dias	21 dias
Milho	1 ano	3 anos
Frango refrigerado	7 dias	30 dias
Fila de pescada refrigerado	5 dias	30 dias
Morango	3 dias	21 dias
Trigo	1 ano	3 anos

Fonte: OLIVEIRA et al, 2012

A irradiação de alimentos é uma técnica de qualidade alimentar eficaz para preservação e aumento do tempo de armazenamento de carnes, frutas frescas, vegetais e especiarias. Em certas frutas e vegetais é utilizado para inibir os processos de germinação e amadurecimento. É um mecanismo muito eficiente na prevenção de muitas doenças transmitidas por alimentos e intoxicações. Alimentos sólidos, crus e congelados podem ser tratados, o processo é relativamente fácil de ser controlado e geralmente depende apenas da velocidade do transportador e da potência da fonte de radiação (GANGULY et al., 2012; ROBERTS, 2014).

Apesar dos benefícios, a irradiação ainda é subutilizada na indústria de alimentos, essa tecnologia pode causar algumas alterações nos alimentos. A formação de radicais livres, gera no alimento sabores desagradáveis, alterações de cor também podem ser observadas em carnes e peixes. As proteínas, o amido e a celulose podem ser quebrados por ação das radiações, sofrendo com a perda do nutriente. Existe uma grande preocupação com o efeito da irradiação em micronutrientes, especialmente vitaminas como a A, C e E que podem ser reduzidas dependendo da dose de irradiação. Por ser um método utilizado no pós-colheita,

não dispensa o uso de agrotóxicos no cultivo dos produtos. Alimentos com alto teor de gordura não podem ser irradiados, pois podem sofrer rancificação (FRANCO E LANDGRAF, 2008; SALLES; PASSOS, 2015; SILVA, 2007).

A pouca aceitação do consumidor é outro fator contra a irradiação. Ainda é grande a desinformação sobre como funciona essa tecnologia, o que leva os consumidores associarem alimentos irradiados a alimentos radioativos ou contaminados. Os julgamentos por parte da população estão diretamente ligados às informações disponíveis, os consumidores mais informados tendem a ser mais favoráveis ao uso desse método (LEVY et al., 2018; SILVA, 2018).

O custo de capital de uma nova instalação de irradiação (US$ 5-12 milhões) é alto, embora os custos operacionais sejam relativamente baixos. Sugere-se que o custo seja uma barreira à irradiação de alimentos, uma vez que devido ao valor necessário para se ter essa tecnologia não é atraente aos produtores de alimentos, que podem utilizar tecnologias mais baratas (ROBERTS, 2014).

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente estudo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica. Severino (2007) relata que a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos ou meios digitais, como livros, artigos, teses entre outros. Os textos tornam-se, portanto, fontes dos temas a serem pesquisados. Rodrigues (2007) afirma que é a recuperação do conhecimento científico acumulado sobre um determinado assunto.

As buscas por trabalhos foram feitas no Pubmed, Google Acadêmico e Scielo. Os termos empregados nas buscas foram: irradiação de alimentos, irradiação de carnes, irradiação de leite, irradiação de cereais, irradiação de frutas e vegetais, food irradiation, meat irradiation, milk irradiation, cereal irradiation e Fruit and vegetable irradiation.

Para a escolha dos trabalhos, foram considerados como fator de inclusão as bibliografias em língua inglesa e portuguesa, publicados em um período de até 50 anos (entre 1971 e 2021) que abordassem o tema com informações condizentes com o objetivo da pesquisa. Foram fatores de exclusão, as bibliografias que não abordassem o tema; e orientação de texto que não contemplava os objetivos propostos. Foram utilizados 27 trabalhos que abordassem a irradiação de carnes, 11 trabalhos sobre a irradiação de cereais, 9 trabalhos sobre a irradiação de laticínios e 21 trabalhos sobre a irradiação de frutas e vegetais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aplicações em produtos

Os consumidores esperam que os alimentos que consomem sejam seguros, com alto valor nutricional e de rápido preparo. Há um aumento no consumo de alimentos frescos e minimamente processados, e a irradiação vem como uma tecnologia que pode atender essas exigências. O uso de irradiação é aprovado em tipos distintos de alimentos, os quais englobam especiarias, grãos, carnes, frutas e legumes (ASHRAF et al., 2019; JUNIOR; VITAL,2010; SILVA; FERREIRA; VALGAS, 2015).

4.2. Carnes

Segundo Gomide et al. (2013), a carne é um alimento extremamente rico em proteínas, gordura e sais minerais e com alto teor de umidade. Devido a essas características, torna-se muito propícia ao desenvolvimento de microrganismos patogênicos, caso não seja conservada de forma correta. Esse alimento tem a conservação mais difícil do que a maioria dos alimentos e, geralmente, é feita pela combinação de vários métodos como a refrigeração, congelamento, emprego de calor, desidratação e emprego de conservantes. É um grande desafio proteger a carne dos microrganismos patogênicos e eliminar os que podem ter contaminado tanto o animal vivo como durante a manipulação nos frigoríficos (FEITOSA, 1999; MARIANO, 2004).

Roberts (2016) afirmou que a irradiação satisfaz plenamente o objetivo de proporcionar na carne estabilidade nutritiva, condições de sanidade e longo período de armazenamento. A radiação pode ser aplicada em carnes cruas, congeladas ou parcialmente processadas. É uma tecnologia promissora para reduzir a intoxicação alimentar induzida por agentes patogênicos e prolongar a vida útil sem comprometer a propriedade nutricional, podendo reduzir ou eliminar populações de vários parasitas e bactérias patogênicas de origem alimentar, que podem estar presentes em carnes de aves, bovina e suína, entre outras carnes, sendo necessária uma dosagem moderada de irradiação (AYARI et al., 2016; THAYER, 1993).

Apesar das vantagens do uso de radiação em carnes, Ayari et al. (2016) afirmaram que o uso desse método pode afetar negativamente a cor, a estabilidade oxidativa (particularmente a oxidação lipídica e a palatabilidade sensorial, dependendo do tipo de carne, dos métodos de embalagem e das condições de irradiação). Os trabalhos científicos relativos ao uso da irradiação em carnes e seus derivados (bovina, suína, peixe, frango, peru, bacon e presunto) são mostrados no quadro 3.

Quadro 3 - Trabalhos científicos do uso da irradiação em carnes

Título	Autor/ Ano
Carne Bovina e Suína	
Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Escherichia coli 0157:H7* and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef.	FU *et al*.(1995a)
• Combined effect of gamma irradiation, ascorbic acid, and edible coating on the improvement of microbial and biochemical characteristics of ground beef.	OUATTARA *et al*. (2002)
Avaliação do efeito da irradiação gama sobre a qualidade microbiológica da carne bovina moída.	ORNELLAS *et al*. (2005)
• Effect of low dose gamma irradiation on beef quality and fatty acid composition of beef intramuscular lipid.	CHEN *et al*. (2007)
Survival of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* and quality attributes of cooked and cured ham after irradiation.	FU *et al*.(1995b)
• Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties.	AHN *et al*. (1998)
• Effect of different irradiati on dose treatment on the lipid oxidation, instrumental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage.	LI *et al*. (2017)
Peixe	
Avaliação físico-química dos efeitos da irradiação e da evisceração na conservação de atum (*Thunnus atlanticus*) refrigerado.	MONTEIRO; MÁRSICO; VITAL (2010)
Aspectos da qualidade do pescado de relevância em saúde pública	GERMANO*; OLIVEIRA; GERMANO*, 1998
Impact of irradiation on fish and seafood shelf life: a comprehensive review of applications and irradiation detection.	ARVANITOYANNIS, STRATAKOS E TSAROUHAS (2008)
Particular applications of food irradiation: Meat, fish and others	EHLERMANN (2016)
Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*).	SIQUEIRA (2001)
Caracterização sensorial e análise bacteriológica do peixe -sapo (*Lophius gastrophysus*) refrigerado e irradiado.	ABREU (2005)
Control of the potential health hazards of smoked fish by gamma irradiation.	BADR (2012a)
Validation of *g*-irradiation in controlling microorganisms in fish.	ACHARJEE *et al* (2014)
Carne de frango	
Radiation preservation of meat and meat products: A revie w	DEMSTER (1985)
Modifications of processing methods to control Salmonella in poultry.	SHACKELDORD (1988)
Decontamination, including parasite control, of dried, chilled and frozen foods by irradiation	FARKAS (1987)
Irradiação e qualidade da carne de frango congelada e embalada a vácuo.	LEONEL (2008)
Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products.	KANATT*; CHANDER; SHARMA* (2005)
Qualidade microbiológica da carne de frango irradiada em embalage m convencional e a vácuo.	OLIVEIRA *et al*. (2009)
Avaliação microbiológica e sensorial da vida -útil de cortes de peito de frango irradiados.	MIYAGUSKU *et al*. (2003)

Continua

Continuação

Título	Autor/ Ano
Carne de Peru	
Caracterização do processo de *Rigor Mortis* e da maciez dos músculos *Gastrocnemis* E *Pectoralis* e efeito da radiação gama na vida comercial da carne de peru (*Meleagris gallopavo*).	COSTA (2006)
Effect of irradiation and packaging type on sensory quality of chill - stored turkey breast fillets.	LYNCH; MACFIE; MEAD (1991)
Effect of irradiation on the parameters that influence quality characteristics of raw turkey breast meat	FENG et al. (2017)
Preservation technologies for fresh meat – A review.	ZHU *et al*. (2004)
Evaluation of gamma irradiation and frozen storage on microbial load and physico-chemical quality of turkey breast meat.	JOUKI (2013)
Presunto e Bacon	
The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation.	BYUN *et al*. (1999)
The effects of irradiation at 1.6 kGy on quality characteristics of commercially produced ham and pork frankfurters over extended storage.	HOUSER *et al*. (2005)
Effects of irradiation on properties of cured ham.	HOUSER SEBRANEK; LONERGAN. (2003)
Effects of irradiation on the inhibition of *Clostridium botulinum* toxin production and the microbial flora in bacon.	ROWLEY *et al.* (1983)
Effect of gamma radiation on the qual ity of bacon	DEMPESTER; MCGUIRE; HALLS, (1986)
Radiation preservation of low nitrite bacon.	SINGH (1988)
Effect of ionizing radiation on traditional and bacon *"farofa"*.	SÁ *et al*. (2021)

Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2.1. Carne bovina e suína

Fu et al. (1995a) utilizaram dosagens de 1,5-2,0 kGy em bifes de carne bovina e carne moída, constatando que a dose de 1,5 kGy e armazenamento a 7° C foi eficiente para tornar indetectáveis microrganismos como a Yersinia enterocolitica, Escherichia coli O157:H7 e Listeria monocytogenes. Não houve aumento nos valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por até 7 dias, e mudanças de cor e no valor de pH não foram observadas.

Ouattara et al. (2002) confirmam os preceitos de Fu et al. (1995) na sua pesquisa ao irradiar carne moída com doses (1,0-3,0 kGy) e acrescentam que a radiação reduziu Enterobactérias, bactérias láticas, Pseudomonas e Brochothrix thermosphacta, mas ressaltam que as doses são baixas, portanto, não destroem por completo os microrganismos.

Ornellas et al. (2005) concordam com os preceitos anteriores e agrega que ao irradiar carne bovina moída com doses de 3,0 e 5,0 kGy, ocorre a destruição dos microrganismos, não sendo constatado crescimento de Staphylococcus sp., ressaltam que a radiação foi eficiente para reduzir a carga microbiana de psicotróficos em relação àss amostras controle, no entanto, os resultados demonstraram que ainda houve crescimento destes microrganismos durante o

período de armazenamento, sendo um crescimento acentuado quando comparadas com as amostras não irradiadas. Chen et al. (2007) utilizando doses (1,13- 3,17 kGy) em carne bovina, observaram uma redução de até 2,6 log das bactérias que estavam presentes. Acrescentam que os ácidos graxos sofreram mudança após a irradiação, o ácido graxo saturado total (SFA) e ácido graxo monoinsaturado (MUFA) aumentaram, já o ácido graxo poliinsaturado total (PUFA) foi reduzido, mas essas mudanças não afetaram a qualidade sensorial da carne, os autores finalizam recomendando a dose de 3 kGy.

Fu et al. (1995b) investigaram os efeitos da aplicação em costeletas de porco, afirmaram que uma dosagem de 0,75-0,90 kGy foi suficiente para reduzir o número de células viáveis de Listeria monocytogenes e de Salmonella typhimurium. Quando se utilizou doses de 1,8-2,0 kGy as populações de patógenos foram reduzidos para níveis indetectáveis, as características sensoriais não foram alteradas.

Ahn et al. (1998) irradiaram hambúrgueres feitos com carne suína e Li et al. (2017) irradiaram carne de porco fresca. Concordam que ao irradiarem com doses de até 7 kGy, a oxidação lipídica é acelerada e ocorre formação de odores desagradáveis, além disso, Ahn et al. (1998) acrescentam que a carne produziu substâncias voláteis não identificadas, segundo os autores essas substâncias poderiam ser as responsáveis pelo odor desagradável na carne crua irradiada. Concluem que embalar os hambúrgueres a vácuo antes da irradiação e durante o armazenamento reduz os problemas com oxidação lipídica por até duas semanas. Li et al. (2017) ressalta que esse tratamento causou alterações na cor da carne, porém só foram observadas essas mudanças para valores de irradiação ≥ 5 kGy, sendo recomendado o uso de doses de até 3 kGy. Concluem que a diminuição de PUFA está ligado a formação de odor desagradável em carne de porco, destacam que voláteis não dependentes da oxidação lipídica foram os maiores responsáveis pelo odor desagradável na carne.

4.2.2. Peixe

De acordo com Monteiro, Mársico e Vital (2010) o pescado é um alimento de alto valor nutritivo, constituindo uma das fontes proteicas de alto valor biológico. É um alimento com pH próximo a neutralidade, elevada atividade de água nos tecidos e alto teor de nutrientes, o que propicia contaminações microbiológicas que reduzem a vida útil do produto, alteram o odor, cor e viscosidade. Sendo um produto de difícil conservação, a irradiação tem sido um método excelente para garantir segurança microbiológica e aumentar a vida útil desse alimento (GERMANO; OLIVEIRA; GERMANO, 1998).

Arvanitoyannis, Stratakos e Tsarouhas (2008) relataram que a irradiação vem ganhando espaço pela sua eficácia e baixo custo quando comparado a outros métodos disponíveis para a conservação de pescados. O aumento de vida útil foi de até 3-5 vezes mais do que os métodos tradicionalmente utilizados. Os autores concluem que a irradiação pode ser empregada em conjunto com a defumação, salga, congelamento e embalagem a vácuo.

Ehlermann (2016) afirma que irradiar o pescado logo após a pesca é um método eficiente para redução de microrganismos, já que nesse momento a carga microbiológica ainda é muito baixa, dessa forma a vida útil do peixe será aumentada.

Siqueira (2001) e Abreu (2005) ao irradiarem tilápia (Oreochromis niloticus) e peixe-sapo, respectivamente, concordaram que a dose de 5 kGy é eficiente para garantir a qualidade sensorial e microbiológica do pescado, aumentando a vida útil de peixes por até 30 dias. Siqueira (2001) destaca a baixa contagem de coliformes totais, fecais e a eliminação de Salmonella e Staphylococcus aureus após a radiação, mas alerta para o tipo de embalagem utilizado no armazenamento, já que foi um desencadeador de reações oxidativas. Acharjee et al. (2014) acrescenta que ao irradiar peixes da espécie Pseudapocryptes elongates, Scomberomorus cavalla, Xenentodon cancila e Otolithoides pama ocorreu a redução de Salmonella spp., coliformes, fungos, Vibrio spp., Pseudomonas spp., Staohylococcus spp. Esses autores afirmam que a dose de 3 kGy é suficiente para reduzir microrganismos e aumentar a vida útil do alimento.

Monteiro, Mársico; Vital, (2010) irradiaram atum (Thunnus atlanticus), a dose de 2,5 kGy foi eficiente para garantir ao alimento um tempo maior de vida útil, retardando a decomposição proteica do atum resfriado, prolongando a vida por mais uma semana. Badr (2012) irradiou salmão defumado, as doses de 3 e 1 kGy inativaram 6,59 e l,05log ufc/g de Listeria monocytogenes e Vibrio parahaemolyticus nas amostras, respectivamente. Foi observado uma redução nas populações microbiana de bactérias aeróbias mesófilas, bactérias anaeróbias, bactérias psicrófilas, bactérias de ácido láctico e bolores e leveduras. A dose de 2 kGy quase tornou as Enterobactérias indetectáveis. A dose de 3kGy apresentou boa avaliação sensorial, sendo recomendado essa dosagem para garantir uma melhora significativa na segurança do salmão defumado.

4.2.3. Carne de frango

De acordo com Dempster (1985) a irradiação em frangos tem como objetivo prolongar o armazenamento e/ou reduzir o número de certos microrganismos patogênicos como a Salmonella. Shackelford (1988) afirmou que a contaminação de frangos com Salmonella tem sua disseminação no processo de escaldo, devido a ação mecânica, e a evisceração favorece a multiplicação desse microrganismo. A irradiação pode controlar ou eliminar a Salmonella em frangos, mas ainda não há um consenso sobre a dosagem necessária para o controle de bactérias patogênicas, já que a destruição desses microrganismos está diretamente relacionada com a população inicial presente no alimento, porém tem sido utilizado doses de 3 a 5 kGy que eliminam potencialmente as patogênicas não formadoras de esporos. A Salmonella não é o único microrganismo presente em carne de frango, já que esse alimento é propício ao crescimento de diversas bactérias patogênicas, como a Campylobacter spp., Listeria spp., Escherichia coli O157:H7, Shigella spp. e Yersinia spp (DEMPSTER, 1985; FARKAS, 1987 LEONEL, 2008; OLIVEIRA et al., 2009).

Miyagusku et al. (2003) evidenciaram que ocorreu uma redução de Pseudomonas spp. utilizando-se dosagens de 1,5-3,0 kGy em cortes de peito de frango, e aumentando para 7,0 kGy essas bactérias foram praticamente eliminadas, porém ao aumentar a dosagem de radiação, ocorria a liberação do cheiro de queimado. Uma redução na contagem de Enterobactérias e E.coli também foi observado, houve um aumento na vida útil nos peitos de frango mantidos sobre refrigeração após a irradiação, quanto maior a dosagem, maior foi o tempo de vida útil desse alimento, porém os autores finalizam sugerindo a dosagem de até 3,0 kGy para aumentar a vida útil sem comprometer as características sensoriais do alimento. Kanatt, Chander e Sharma (2005) concordam com os preceitos acima e acrescentam que a irradiação foi eficiente na redução de Staphylococcus spp. e Salmonella, sem causar alterações sensoriais. Oliveira et al. (2009) adicionam que a irradiação reduziu mesófilos aeróbios estritos e facultativos viáveis, coliformes totais e termotolerantes, com destaque para a Salmonella spp. Outros microrganismos como os bolores e leveduras demonstraram maior resistência à radiação. Leonel (2008) contempla os achados de Miyagusku et al. (2003) mas discorda sobre a dosagem, afirmando que 2,0 kGy é a ideal e acima disso o alimento adquiriu sabor depreciativo, além disso, foi registrado aumento na oxidação do músculo, aumento na intensidade do vermelho e redução do amarelo.

4.2.4. Carne de Peru

Segundo Costa (2006) a carne de peru tem se tornado atraente aos consumidores por tratar-se de um alimento rico em proteína com baixos níveis de gordura e colesterol. Esse alimento também é uma das carnes que despertam preocupação da indústria avícola quanto a sua contaminação com microrganismos, sendo a irradiação um método que pode ser aplicado para o controle.

Lynch, Macfie e Mead (2001) e Feng et al. (2017) relataram que ao irradiar peito de peru com doses entre 1,0-4,5 kGy ocorreu a formação de odor desagradável, comparado ao cheiro de enxofre e sabor depreciativo foi observado, os autores afirmam que uma redução na carga microbiana por até 21 dias foi conseguida. Feng et al. (2017) ressaltam que a irradiação aumentou a velocidade da oxidação de lipídios e proteínas. Foi encontrado dissulfeto de dimetila, os autores sugerem que este composto pode ser um indicador para carne irradiada, já que sua quantidade aumentou à medida que a dosagem também subia. Zhu et al. (2004) irradiaram rolinhos de peito de peru com doses de 1 e 2 kGy. Observaram o aumento significativo do sabor de enxofre e alteração na cor, os autores sugerem que o uso de aditivos seja uma opção a ser estudada para prevenir o sabor negativo induzido pela irradiação.

Costa (2006) irradiou peru que passou pelo processo rigor mortis. Os efeitos na vida comercial da carne foram avaliados, observaram aumento na oxidação lipídica com a dose de 3 kGy, essa dosagem foi responsável pela redução de bactérias psicrotróficas e de Enterococcus spp., mas causou sabor estranho no alimento no início da estocagem, cor e aroma não sofreram

alterações, tendo boa aceitação. Jouki (2013) utilizando doses de 3,0-4,0 kGy não relataram mudanças no sabor e cheiro, foi observado o aumento da oxidação de lipídios e no valor do peróxido, mas que não afetaram a qualidade sensorial do alimento. Redução de bactérias mesófilas e coliformes foi relatado, enquanto a Salmonella não foi detectada.

4.2.5. Presunto e bacon

O nitrito (NO2) é responsável por um efeito avermelhado, previne a deterioração do sabor da carne, retarda a germinação de esporos e toxinas do C. botulinum sendo muito utilizado dentro da indústria de carnes, porém ao fazer o uso desse aditivo ocorre a formação de nitrosaminas, compostos que são considerados altamente carcinogênicos para o homem (BYUN et al., 1999; DUTRA; RATH; GUILLERMO, 2008; OLIVO; RIBEIRO, 2018; PIERSON; SMOOT; ROBACH, 1983).

Byun et al. (1999) realizaram uma pesquisa para determinar se a irradiação poderia substituir o nitrito de sódio em presunto, mantendo a cor desejada sem a necessidade do aditivo. Os pesquisadores observaram que a dosagem de 5 kGy foi eficiente para alcançar o objetivo, mantendo a cor por 30 dias. A peroxidação aumentou com a irradiação, mas não afetou a qualidade organoléptica do alimento. Houser, Sebranek e Lonergan(2003) acrescentam que a irradiação aumentou a oxidação lipídica no presunto, a cor se manteve estável com dosagens ≤ 4,5 kGy. Ele ressalta que os presuntos cozidos (curados ou não) apresentaram odor desagradável após a irradiação, mas desaparece após 30 dias. Em outro trabalho Houser et al. (2005) investigaram os efeitos da dosagem de 1,6 kGy nas características do presunto e observaram que não houve mudança de cor no alimento, a oxidação lipídica não sofreu alterações, mas o odor desagradável no presunto foi notado e relatado. Os autores afirmaram que as mudanças ocorridas no odor, sabor e a produção de voláteis são preocupantes caso a irradiação seja usada para controlar o crescimento microbiano.

Rowley et al. (1983) estudaram o efeito da irradiação na inibição da toxina produzida pelo Clostridium botullinum no bacon, fazendo uso de dosagens de 5,10 e 15kGy. Foi observado que devido a ação do microrganismo o bacon inchava e se tornava tóxico. A irradiação com a dose de 5 kGy evitou a deterioração do bacon, já que reduziu a contagem; a dosagem de 10 kGy diminuiu o número de bolsas tóxicas e inchamento do alimento, usando a dose de 15 kGy evitou-se que o bacon ficasse tóxico e inchasse. Dempster, Mcguire e Halls (1986) corroboram com os achados de Rowley et al. (1983) e acrescentam que o número de bactérias foi reduzido após a exposição a dose 17,3 kGy e nenhuma bactéria láctica sobreviveu a radiação de 6,3 kGy. Somente o odor teve pontuação depreciada na análise sensorial, foi descrito como estranho ou metálico. Os tratamentos de 10,5 e 17,3 kGy excedem a diretriz da OMS (>/ 10 kGy), os autores finalizam afirmando que são necessários mais estudos para estabelecer o efeito da irradiação no bacon após armazenamento prolongado, particularmente no que diz respeito às mudanças de odor.

Singh (1988) afirma que a dose de 30 kGy em bacon com baixo teor de nitrito, em temperatura de -20° C, resultou em um produto estável em prateleira, que teve sua vida estendida por meses e até anos. A qualidade organoléptica foi mantida, sendo comparado ao bacon comercial, a irradiação reduziu o nitrito e as nitrosaminas pré-formadas no bacon. Sá et al. (2021) usou doses até 10 kGy em bacon, tendo como resultado um alimento com pH ácido, a atividade de água se manteve estável assim como a textura, a cor amarela não sofreu alterações, concluíram que a dose de 1,0 kGy foi a que apresentou melhores resultados.

4.3. Cereais

De acordo com Takeiti (2010) cereal é qualquer fruto ou semente comestível da família das gramíneas que pode ser utilizado como alimento. Os principais cereais utilizados na alimentação humana e animal são: trigo, arroz, milho, cevada, aveia e centeio. Esses alimentos são ricos em carboidratos, apresentando em sua composição água (12-13%), proteína (9-13%), lipídios (2-5%), fibras (0,5-2%) e minerais (1-3%).

Esses alimentos têm uma microflora composta por uma grande variedade de fungos e bactérias. Fatores como os climáticos, onde os grãos são produzidos, as condições de armazenamento e a espécie vegetal influenciam na predominância de uma determinada espécie de microrganismos, esses micróbios afetam o poder germinativo das sementes e as qualidades organolépticas, afetando seu valor nutritivo, sendo que alguns microrganismos encontrados em cereais são produtores de micotoxinas. Além dos microrganismos, os cereais também estão sujeitos aos ataques de pragas, insetos que se reproduzem facilmente, de tamanhos pequenos e que causam danos a pelo menos 10% da produção de qualquer agricultor (EEEP, 2011).

Segundo Silva, Ferreira e Valgas (2015), a radiação usada com o propósito de garantir a segurança dos cereais, vem sendo apresentada como uma alternativa eficaz e segura, sendo uma prática promissora para estender a vida útil e reduzir as perdas das safras de grãos, já que é um processo a frio e o alimento não esquenta ao ser irradiado. Grãos e cereais estão sendo tratados com baixas doses de irradiação para eliminar fungos e proteger contra os insetos que atacam os cereais. Apesar das vantagens, a irradiação afeta vários critérios de qualidade de grãos e cereais, como a redução de viscosidade e também diminuição da altura e estabilidade da massa (MENDES et al., 2010). No quadro 4 é mostrado os trabalhos científicos relativos ao uso de irradiação em cereais (arroz e trigo).

Quadro 4- Trabalhos científicos do uso da irradiação em cereais

Titulo	Autor/ Ano
Arroz	
Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice.	Wu *et al.* (2002)
Efeito da irradiação gama (Co^{60}) na qualidade e segurança do arroz.	Guimarães (2009)
Effect of gamma irradiation on 2-acetyl-1-pyrroline content, GABA content and volatile compounds of germinated rice (Thai Upland Rice).	Sansenya *et al.* (2017)
Effects of gamma irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of brown rice starch.	Kumar *et al.* (2017)
• Moisture mediated effects of γ-irradiation on physicochemical, functional, and antioxidant properties of pigmented brown rice (*Oryza sativa L.*) flour.	Sultan, Wani e Masoodi (2018)
Trigo	
Gamma irradiation to improve plant vigour, grain development, and yield attributes of wheat.	Singh e Datta (2010a)
Effect of low dose gamma irradiation on plant and grain nutrition of wheat.	Singh e Datta (2010b)
Breadmaking properties of flour produced from irradiated wheat.	Singer, Sabato e Tadini (2006)
• Efeito da radiação ionizante em diferentes tipos de farinhas utilizadas em tecnologia de panificação.	Teixeira (2011)
Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (*Triticum aestivum, L.*).	Manupriva *et al.* (2020)
Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados.	Silva (2003)

Fonte: Autoria Própria, 2021.

4.3.1. Arroz

O arroz é um dos cereais mais presentes na alimentação humana, sendo fonte de nutrientes necessários ao organismo. Sua composição química favorece a contaminação por fungos que podem produzir micotoxinas, que são substâncias nocivas aos humanos. A irradiação é um método estudado para controle de microrganismos nesse alimento (GUIMARÃES, 2009).

Wu et al. (2002) estudaram os efeitos da irradiação na viscosidade do amido, utilizaram doses de 0 a 1 kGy, obtiveram como resultado uma redução nos teores de amilose, os grânulos de amido foram deformados, não houveram mudanças visíveis na temperatura de gelatinização, porém o tempo de pico foi reduzido. Concluíram que o uso da irradiação pode ser um método promissor para melhorar a qualidade ou cozimento do arroz. Kumar et al. (2017) irradiaram arroz integral com doses de 5-20 kGy e acrescentam que a irradiação reduziu a viscosidade, foi observado a retrogradação do amido que pode ser muito útil no uso de amido modificado em alimentos congelados.

Guimarães (2009) utilizou doses (2,5 kGy, 5,0 kGy, 7,5 kGy e 10 kGy) e acrescenta que as doses de 6,5 kGy e 7,5 kGy reduziram de forma satisfatória a população de fungos presentes no arroz, ocorreu alteração em algumas características no alimento, mas que não interferiram na sua aceitabilidade e consumo, houve aumento da vida útil e redução das perdas naturais causadas por processos fisiológicos.

Sansenya et al. (2017) irradiaram arroz tailandês com doses (20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 250 Gy) e concordam com os preceitos já citados e acrescentam que a irradiação intensifica o aroma do arroz, ao aumentarem a dose a formação de compostos voláteis diminuiu. Sultan; Wani; Masoodi (2018) irradiaram farinha de arroz com doses (0-5 kGy), obtiveram como resultados, uma alteração das propriedades fisico-químicas do arroz, a solubilidade aumentou, enquanto o índice de inchaço diminuiu. As propriedades funcionais e antioxidantes melhoraram com o uso da dose 2,5 kGy, já as propriedades de colagem diminuíram.

4.3.2. Trigo

O trigo é um dos alimentos mais consumidos no mundo, seu cultivo ocorre em grande escala assim como o consumo dos seus subprodutos. É um alimento rico em nutrientes como amido, proteínas, minerais, vitaminas e lipídios. É muito utilizado na panificação, também é aplicado na produção de bebidas, etanol entre outros (KANG et al., 1999; KUMAR et al., 2011; MARATHE et al., 2002).

Singh; Datta (2010a) irradiaram pés de trigo com doses de 0,01-0,10 kGy para investigar se esse método afetava as plantas. Os autores afirmaram que a radiação gama de baixa dosagem é um método promissor para a melhoria fisiológica da colheita, sendo que o vigor da planta melhorou e o rendimento dos grãos foi aumentado. Em um trabalho posterior, Singh; Datta (2010b) irradiaram os pés e os grãos de trigo com doses de 0,01-0,10 kGy e declararam que a irradiação melhorou a nutrição da planta, mas não a qualidade nutricional dos grãos, particularmente em relação aos micronutrientes.

Singer; Sabato; Tadini (2006) irradiaram a farinha de trigo com doses de 0 a 2,5 kGy, segundo os autores não houveram mudanças nos parâmetros fisico-químicos, reológicos, entálpicos e microbiológicos. A autora afirma que não ocorreu mudança significativa nos pães produzidos a partir da farinha irradiada. Teixeira (2011) acrescenta que ao utilizar a dosagem de 9 kGy na farinha de trigo, ocorreu a preservação da qualidade higiênica do produto, e foram induzidas algumas características tecnológicas benéficas para seu uso na produção de pães. Outrora Manupriya et al. (2020) sugeriram a dosagem de 1 kGy para irradiar farinha, segundo os pesquisadores, essa dosagem é suficiente para melhorar a qualidade e sabor em alimentos de panificação. Silva et al. (2010) irradiaram farinha de fubá e trigo, o processo não promoveu a deterioração oxidativa das farinhas, porém favoreceu a hidrólise, mais notadamente no fubá do que no trigo. As farinhas se mostraram aceitáveis sensorialmente em todos os tratamentos, mas ocorreram perdas tecnológicas na qualidade durante o armazenamento. Silva (2003) afirma que o tratamento com 3 kGy é a única dose recomendada para a fabricação de pão francês, as doses de 4,5 kGy produziria pães de baixa qualidade.

4.4. Laticínios

Torrezan (2009) afirmou que laticínios são aqueles alimentos que possuem leite como principal elemento em sua composição. Entre eles se enquadram o iogurte, manteiga, os queijos, requeijão, bebidas lácteas, leites, creme de leite, entre outros. O leite é uma importante fonte de proteínas, sais minerais, gorduras e vitaminas, também é um excelente meio para o crescimento de vários grupos de microrganismos desejáveis e indesejáveis (VENTURINI; SARCINELLI; SILVA, 2007).

Do ponto de vista de controle de qualidade, o leite e os derivados lácteos estão entre os alimentos mais testados e avaliados, principalmente devido à importância que representam na alimentação humana e à sua natureza perecível (BRITO; BRITO, 1998). Segundo Leonardi; Canniatti-Brazaca; Arthur (2011) vários são os métodos disponíveis para as indústrias de alimentos que possibilitam o aumento da conservação do leite. Alguns desses métodos agem prevenindo ou inibindo o crescimento dos microrganismos, outros, por outro lado, agem inativando os microrganismos. Entre estes últimos, podem ser citadas a pasteurização, a esterilização e a irradiação.

A irradiação aumenta a vida útil do leite, favorece uma melhora sensorial na textura e as condições de qualidade do leite, porém esse método tem sido limitado pela possibilidade da produção de compostos indesejáveis que comprometem os aspectos sensoriais, como a formação de ácido butírico que altera o sabor e aroma do leite, fazendo com que o produto não seja atraente ao consumidor, a gordura do leite pode adquirir um sabor estranho, isso ocorre em parte devido a formação de peróxidos dos componentes mais saturados. Esse alimento é sensível à radiação, tendendo ao escurecimento (LEONARDI; CANNIATTI-BRAZACA; ARTHUR,2011; MARCHIONI, 2006; WERTHEIM et al., 1957). No quadro 5 é mostrado os trabalhos científicos relativos ao uso de irradiação em laticínios (leite, queijos e sorvete).

Quadro 5 – Trabalhos científicos do uso da irradiação em laticínios

Título	Autor/Ano
Leite e queijo	
Effect of gamma irradiation on the bacteriological and sensory analysis of raw whole milk under refrigeration	De Oliveira et al (2015)
Radiossensibilidade da *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* e *Escherichia coli* em leite tratado por irradiação gama	Lima *et al.* (2020)
Survival of *Listeria monocytogenes* in mozzarella cheese and ice cream exposed to gamma irradiation	Hashisaka; Weagant; Dong (1989)
Survival of *Listeria monocytogenes* after irradiation treatment of camembert cheeses made from raw milk	Bougle; Stahl (1994)
Efeito da radiação gama nas características físico-químicas e microbiológicas do queijo prato	Gutierrez (2001)

Continua

Continuação

Título	Autor/Ano
Sorvete	
Low-dose irradiation as a measure to improve microbial quality of Ice cream	Kamat*et al.* (2000)
Irradiated ice creams for immunosuppressed patients	Pietranera*et al.* (2003)
Radiation sensitivity of selected pathogens in ice cream	Jo *et al.* (2007)
Improving the microbial safety of ice cream by gamma irradiation	Badr et al. (2012b)

Fonte: Autoria Própria, 2021.

4.4.1. Leite e queijo

De Oliveiraet al. (2015) fizeram uso de doses (0-3,0 kGy) em leite cru, obtendo resultados positivos para o controle de mesófilos, sendo necessário uma dosagem de 2 kGy para garantir a qualidade bacteriológica do leite integral e cru. Lima et al. (2020) acrescenta que uma dose de 1,0 kGy foi suficiente para obter uma redução de 90% da população microbiana, reduzindo Salmonella enteritidis, Listeria monocytogenes e Escherichia coli.

Hashisaka; Weagant; Dong (1989), Bougle e Stahl (1994) e Gutierrez et al. (2004) estudaram o efeito da radiação em queijo muçarela, queijo camembert e queijo prato respectivamente, e concordam que doses de até 2,5 kGy é suficiente para eliminar o L. monocytogenes do alimento sem causar danos às propriedades sensoriais. Gutierrez et al. (2001) destacaram que bactérias láticas presentes foram reduzidas o que consequentemente retardou a maturação do queijo e resultou em uma degradação mais lenta dos constituintes do leite. Os pesquisadores ressaltaram que uma dose de 4 kGy causa mudança de cor, altera a textura e causa gosto amargo, sendo que o queijo ficou mais pálido. A textura se tornou mais firme, a cremosidade foi diminuída, dando lugar a uma textura mais seca e com menos sabor.

4.4.2. Sorvete

Dentre os derivados do leite, o sorvete é um produto significativo para a indústria. É um alimento suscetível ao crescimento de microrganismos devido ao pH atribuído, o armazenamento e a fabricação (ODUEKE et al., 2016). A presença de Bacillus cereus, Salmonella, Yersinia e Listeria monocytogenes nesse alimento torna-se um problema para seu consumo a pessoas imunocomprometidas (FARBER; PETERKIN, 1991; HASHIKA et al., 1989; WALKER; ARCHER; BANKS, 1990).

Hashisaka; Weagant; Dong (1989) e Kamat et al. (2000) irradiaram sorvetes de baunilha, morango e chocolate com doses até 32 kGy em uma temperatura de -78°C e -72°C e concluíram que doses entre 2,0-3,0 kGy é eficiente para garantir segurança microbiológica, inativando Listeria monocytogenes, Yersinia enterocolítica e Escherichia coli O157:H19. Kamat et al. (2000) relataram que o único sorvete a apresentar odor estranho foi o de baunilha ao ser irradiado com uma dose >2 kGy. Os autores concluem que a temperatura em que o sorvete foi irradiado teve influência na eficiência da inativação dos microrganismos. Pietranera et al. (2003) irradiaram sorvetes de baunilha, framboesa, pêssego e geleia de leite, com doses de 3-9 kGy e observaram redução de carga microbiana, sem alterações sensoriais, afirmando que os sorvetes a base de água (framboesa e pêssego) mais resistentes a radiação do que os de creme (baunilha e geleia de leite).

Ampliando e corroborando com os estudos acima, Jo et al. (2007) irradiaram sorvetes de baunilha, chocolate e morango que continham Listeria ivanovii, E. coli e Salmonella typhimurium inoculados. A presença de bactérias aeróbias, fungos, leveduras e coliforme variou de 2 a 3 log UFC/g sendo necessário uma dose de 3 kGy para inativar as bactérias aeróbias no sorvete de baunilha e de 5 kGy nos sorvetes de morango e chocolate. Doses de 3,1 e 0,1 kGy foram necessárias para inativar L. ivanovii, E. coli e S. typhimurium respectivamente. O valor D10 foi calculado para o L. ivanovii e E. coli sendo na faixa de 0,71-0,77 e 0,28-0,38 kGy a uma temperatura de -72°C respectivamente. Para o S. typhimurium não foi possível calcular o D10, o uso de 0,1 kGy foi suficiente para que esse microrganismo se tornasse indetectável. Os pesquisadores finalizam afirmando que doses baixas são suficientes para reduzir a carga microbiana no sorvete, melhorando a qualidade microbiológica desse alimento.

Badr et al. (2012b) concorda com as doses utilizadas por outros autores e acrescenta que a irradiação inativou Staphylococcus aureus, L. monocytogenes e Salmonella typhimurium com a dose de 3 kGy, já a dose de 2 kGy foi suficiente inativar as Enterobactérias. O autor sugere que a dose de 3 kGy é capaz de melhorar a qualidade microbiológica do sorvete, conservando suas características sensoriais.

4.5. Frutas e Vegetais

Vegetal é relativo ou procedente de plantas. De acordo com o Codex Alimentarius, a categoria de vegetais inclui também: cogumelos e fungos, raízes e tubérculos, legumes, aloe vera, algas, nozes e sementes (BORJES; CAVALLI; PROENÇA, 2010; CODEX ALIMENTARIUS, 2019).

De acordo com Arvanitoyannis; Stratakos; Tsarouhas (2009) há uma tendência crescente, tanto em países desenvolvidos como em muitos países em desenvolvimento, de processar frutas frescas e vegetais, devidamente embalados para a distribuição e comercialização. A

irradiação nesses alimentos tem se mostrado eficiente na redução de perdas pós-colheita e no controle de insetos e microrganismos do produto armazenado, levando a um aumento na vida útil do alimento e as mudanças físicas e organoléptica são poucas, sendo um método eficiente na conservação de vegetais e frutas.

A razão para irradiar frutas pode ser para retardar a deterioração microbiana, controlar infestação de insetos, inibir a germinação e retardar o amadurecimento. A deterioração de frutas está relacionada principalmente aos fungos (IAEA, 1982).

Uma dificuldade sobre esse método é que a irradiação não atua seletivamente, afeta tanto os microrganismos, quanto o próprio produto. Dependendo da dosagem, os tecidos das plantas mostram um breve aumento na respiração e na produção de etileno mesmo em doses reduzidas (STADEN, 1973; MENDES et al., 2010).

No quadro 6 é mostrado os trabalhos científicos relativos ao uso de irradiação em frutas (limões, lichias, mangas, mamão, abacate, pêssego, goiaba e morangos) e Vegetais (cenouras, suco de couve, cebolas e alho).

Quadro 6 – Trabalhos científicos do uso da irradiação em frutas e vegetais

Título	Autor/Ano
Frutas	
Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables.	Mitchell *et al*. (1992)
Irradiation of mangoes as a postharvest quarantine treatment for fruit flies (*Diptera: Tephritidae*).	Bustos *et al*. (2004)
Efficacy of irradiation vs thermal methods as quarantine treatments for tropical fruits.	Moy (1993)
• Conservação pós-colheita de abacates Persia americana Mill., variedades fortuna e quintal, por irradiação.	Germano; Arthur; Wiendl (1996)
The effect of gamma irradiation on the internal and external quality of avocados.	Rand *et al*. (2010)
Studies on enhancing the keeping quality of peach (Prunus persica Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation	HUSSAIN et al. (2008)
Commercial scale irradiation for insect disinfestation preserves peach quality.	McDonald *et al*. (2012)
• Effect of different doses of gamma radiation on shelf-life of guava.	Baghel *et al*. (2005)
• Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and maintain quality of fresh guava fruit.	Singh;Pal (2009)

Continua

Continuação

Título	Autor/Ano
Frutas	
Impact of low doses of gamma irradiation on off season guava at ambient storage conditions.	Sau *et al.* (2018)
Alterações físico-químicas em morangos (*Fragaria anassa Duch*) Irradiados e armazenados.	Françoso *et al.* (2008)
Doses de radiação gama na conservação da qualidade de morangos.	Nassur *et al.* (2016)
Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ-irradiation.	Maraei; Elsawy (2017)
Vegetais	
Effect of low-dose irradiation on shelf life and microbiological safety of sliced carrot.	Kamat *et al.* (2005)
Effect of gamma irradiation on histological and textural properties of carrot, potato and beetroot.	Nayak *et al.* (2007)
• Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice.	Song *et al.* (2007)
Efeitos da radiação gama na conservação de variedades de cebola (*Allium cepa*) da região do São Francisco, Pernambuco.	Carneiro *et al.* (1975)
Avaliação da qualidade da cebola irradiada na Argentina e armazenada no Brasil.	Walder *et al.* (1997)
• The influence of gamma-irradiation on the storage life of "red" variety garlic.	Croci;Curzio (1983)
• Effects of gamma irradiation dose and timing of treatment after harvest on the store ability of garlic bulbs.	Kwon;Byun;Cho (1985)
• Morphological changes induced by different doses of gamma irradiation in garlic sprouts.	Pellegrini;Croci;Orioli (2000)
• Variation in quality and acceptability of minimally processed garlic in response to γirradiation and packaging during refrigerated storage.	Sharma *et al.* (2021)

Fonte: Autoria Própria, 2021.

4.5.1. Frutas

Mitchell et al. (1992) irradiaram limões, lichias e mangas com doses de 0,075 – 0,3 kGy, em nenhuma das frutas foi detectado mudanças significativas, a não ser na cor que se tornou mais forte após o procedimento e a sacarose que aumentou no limão. Moy (1993) e Bustos et al. (2004) acrescentam que uma dose de 0,15 kGy é suficiente para tornar papaia havaiano e manga seguros contra a infestação de moscas das frutas, sem causar alteração nas qualidades sensoriais, porém Bustos et al. (2004) ressaltam que ocorreu redução da vitamina C. Moy (1993) agrega que a irradiação pode ser utilizada em outras frutas tropicais, o que poderia aumentar o comércio internacional desses alimentos, já que ocorre aumento na vida útil e eliminação de pragas.

Germano; Arthur; Wiendl (1996) e Rand et al. (2010) irradiaram espécies diferentes de abacate (fortuna, quintal e carmem, hass), e concluíram que a irradiação é efetiva para controlar pragas quarentenárias, porém no abacate os resultados sensoriais não foram positivos, mesmo fazendo uso da dosagem recomendada por outros autores anteriormente. Germano; Arthur; Wiendl (1996) agregam que a refrigeração foi mais efetiva na conservação do abacate, do que a irradiação.

Hussain et al. (2008) irradiaram pêssego (Prunus pérsica Bausch) com doses de 1,0-2,0 kGy e concluíram que a cor se tornou mais forte, a decomposição da fruta atrasou causando um aumento da vida útil por até 20 dias nos pêssegos que foram mantidos sobre refrigeração. McDonald et al. (2012) concordam com os preceitos citados acima e acrescentam que ao irradiarem pêssegos, a suculência aumentou e a firmeza do alimento diminuiu. Os consumidores avaliaram bem os pêssegos irradiados, alegando que pareciam ter mais qualidade do que os não irradiados. Ampliando e corroborando, Kim et al. (2010) investigaram o uso de radiação gama (0,5-2,0 kGy) para a eliminar patógenos no pêssego (Prunus pérsica L. Barsch cv Dangeumdo), concluindo que a irradiação inativa Botrytis cinerea, Penicillium expansum, Rhizopus stolonifer var. stolonifer e Monilinia fructicola, sendo necessário doses baixas para esse feito, além disso, houve aumento na atividade antioxidante da fruta, entretanto causou amolecimento no pêssego.

Singh; Pal (2009) e Sau et al. (2018) concordam que uma dose ≥0,20 kGy é ideal para uso em goiabas, reduzindo as perdas fisiológicas desse alimento e retardando o amadurecimento, dessa forma a vida útil aumentou por até 4 dias. Singh; Pal (2009) afirmaram que a redução da vitamina C foi a única alteração negativa. Baghel et al. (2005) discordam sobre a dosagem em goiabas, na sua pesquisa o uso de doses >0,10 kGy acarretaram no aparecimento de manchas escuras na superfície do alimento, portanto os autores recomendam doses <0,100 kGy.

Françoso et al. (2008) irradiaram morango com doses de 0,5-2,0 kGy, não encontrando diferenças no sabor, cor e odor do morango, mas o tempo de armazenamento acarretou mudanças no alimento. Nassur et al. (2016) e Maraei; Elsawy (2016) acrescentam que

tiveram como resultado da sua pesquisa um morango com maior índice de antocianinas após a irradiação, além disso os morangos irradiados apresentaram um índice menor de podridão durante o tempo de armazenamento. Maraei; Elsawy (2016) relataram redução de vitamina C.

4.5.2. Vegetais

Kamat et al. (2005) irradiaram cenouras e concluíram que a dose de 2 kGy garantiu um produto seguro e livre de microrganismos, tendo perdas insignificantes em nutrientes. Os valores de D10 para a redução da Escherichia coli e Yersinia enterocolitica foram de 0,12-0,26 kGy e para a Listeria monocytogenes 0,3-0,5 kGy. Nayak et al. (2007) agregam que ao irradiarem cenoura, batata e beterraba com doses maiores que 2,0 kGy, ocorreu a quebra das paredes celulares o que resulta em alimentos com um tecido mais mole e elástico, sendo recomendado doses menores que essa para os alimentos utilizados na pesquisa. O uso da irradiação no suco de cenoura e couve feito por Song et al. (2007) demonstraram que a dose de 3 kGy eliminou todas as bactérias aeróbias e coliformes que estavam presentes no suco de cenoura, no suco de couve uma dose de 5 kGy conseguiu reduzir os microrganismos, sendo que as células sobreviventes não cresceram durante o tempo de armazenamento. Os sucos permaneceram próprios para consumo mesmo após 3 dias de armazenamento com uma temperatura de 10°C, enquanto o controle não irradiado estava deteriorado.

Carneiro et al. (1975) irradiaram espécies diferentes de cebolas presentes na região do São Francisco em Pernambuco, com doses de 4-12 krad, observaram que o brotamento não ocorreu após procedimento. A irradiação conservou 92% das cebolas amarelas das canárias, 94% da cebola Pera de Pernambuco e 83% das cebolas Asgrow e não houveram alterações nas características do alimento. Walder et al. (1997) corroboram com o trabalho anterior e acrescentam que cebolas irradiadas na Argentina e armazenadas no Brasil não sofreram perda de peso dos bulbos, conservando uma alta porcentagem de bulbos comerciáveis sem afetar as propriedades sensoriais. Ao fim do experimento 92,3% das cebolas irradiadas eram comerciáveis enquanto do saco não irradiado só 52,3% era comerciável.

Croci; Curzio (1983), Kwon; Byun; Cho (1985) e Pellegrine; Croci; Orioli concordam que a irradiação é eficiente para evitar o brotamento e a perda de peso do alho, conservando o alimento por mais tempo, sendo necessário doses baixas para alcançar o objetivo. Sharma et al. (2021) concorda com os preceitos já citados e acrescenta que a embalagem é um fator determinante para o não escurecimento do alho após a irradiação.

4.6. Aspectos microbiológicos

Os microrganismos são um problema para a indústria alimentícia, além de causarem deterioração nos alimentos, podem causar doenças, por isso a redução e/ou eliminação é tão importante. No quadro 7 temos uma lista de microrganismos que foram encontrados em diferentes alimentos nos trabalhos utilizados nos resultados e discussão.

Quadro 7 – Microrganismos e alimentos

Microrganismo	Alimento	Autor/ano
Yersínia enterocolitica	Carne bovina Sorvete Cenoura	Fu *et al*., (1995a) Kamat *et al.,* (2000) Kamat *et al*., (2005)
Bactérias láticas	Bacon Carne bovina Frango Queijo prato Salmão defumado	Dempster; Mcguire; Halls (1986) Ouattara *et al*., (2002) Miyagusku et al. (2003) Gutierrez *et al*., (2004) Badr (2012a)
Pseudomonas	Carne bovina Frango Peixe	Ouattara *et al*., (2002) Miyagusku *et al*., (2003) Acharjee *et al*., (2013)
Listeria monocytogenes	Sorvete Queijo muçarela Queijo camembert Carne de porco Cenoura Salmão defumado Leite	Hashisaka *et al*., (1989) Hashisaka *et al*., (1989) Bougle; Stahl (1994) Fu *et al*., (1995b) Kamat *et al*., (2005) Badr (2012a) Lima *et al*., (2020)
Salmonella	Frango Frango Peru Peixe	Leonel (2008) Oliveira *et al*., (2009) Jouki (2013) Acharjee *et al*., (2013)
Escherichia coli	Frango Cenoura Leite	Miyagusku *et al*., (2003) Kamat *et al*., (2005) Lima *et al*., (2020)

Fonte: Autoria própria, 2021.

Yersinia enterocolitica foi estudada em carne bovina, sorvete e cenoura, a redução ou eliminação desse microrganismo teve o uso de diferentes dosagens. No trabalho de Fu et al. (1995a) onde irradiaram carne bovina foi necessária uma dose de 1,5 kGy, Kamat et al. (2000) ao irradiarem sorvete a uma temperatura -72°C, afirmaram que o D10 encontrado para a Y. enterocolitica foi de 0,15 kGy. Em um trabalho posterior Kamat et al. (2005) irradiaram cenouras, encontrando um D10 de 0,26 kGy para reduzir Y. enterocolitica.

No trabalho de Dempster; Mcguire; Halls (1986) os autores afirmaram que bactérias láticas presentes em bacon não sobreviveram a uma dose acima de 3,7 kGy. Ouattara et al. (2002) e Badr (2012a) concordam que a dose de 3 kGy é eficiente para reduzir bactérias láticas em carne bovina e salmão defumado . Ouattara et al. (2002) acrescentam que a acidez do meio favorece a resistência desses microrganismos. Miyagusku et al. (2003) afirmaram que bactérias láticas demonstraram resistência à irradiação, sendo necessária uma dose >3 kGy para eliminá-las em carne de frango. Gutierrez et al. (2004) relataram que a irradiação eliminou bactérias láticas, mas não informam qual a dosagem responsável por esse efeito.

Ouattara et al. (2002) relataram que a população de Pseudomonas spp. foi reduzida de um valor de 7,78 a 8,06 log UFC/g a um valor de 3,69 a 4,20 log UFC/g após a irradiação com a dose de 1 kGy na carne bovina. O uso da dose de 2 e 3 kGy resultaram em contagens de 2,28 a 2,59 log UFC/g e 2,25 a 2,29 log UFC/g, respectivamente. Miyagusku et al. (2003) evidenciaram a redução de Pseudomonas spp. de até 6 log UFC/g fazendo uso das doses 1,5 e 3,0 kGy em peito de frangos. Os autores afirmam que uma dose de 7,0 kGy eliminou esses microrganismos, mas causou odor de queimado. Archajee et al. (2013) afirmaram que a irradiação com a dose 3 kGy foi eficiente para reduzir em até 3 log Pseudomonas spp. em peixes.

Hashisaka et al. (1989) relataram que o valor D10 para a Listeria monocytogenes em queijo muçarela foi de 1,4 kGy e em sorvete foi de 2,0 kGy. Bougle;Stahl (1994) afirmaram que o valor D10 da L. monocytogenes foi de 0,50±0,05 kGy e que uma dose de 2,6 kGy foi eficiente na destruição desse microrganismo que estava presente em queijo camembert. Fu et al. (1995b) relataram que a dose de 2,0 kGy reduz Listeria monocytogenes a níveis quase indetectáveis, os autores complementam que ao armazenar em temperatura de 25°C com o passar dos dias foram registradas células do microrganismo. Kamat et al. (2005) afirmaram que é necessária uma dose entre 0,3 e 0,5 kGy para alcançar a redução de até 90% da L. monocytogenes, sendo a dose de 2 kGy efetiva na destruição desse microrganismo. Badr (2012) afirmaram que uma dose de 3,0 kGy foi suficiente para inativar L. monocytogenes. Segundo Lima et al. (2020), foi necessária uma dose de 1 kGy para reduzir a carga microbiana inicial de L. monocytogenes em até 90% em leite.

Leonel (2008) e Oliveira et al. (2009) concordam que para a eliminação de salmonella é necessária uma dose de 1,5 kGy em carne de frango. Jouki (2013) afirma que doses entre 2 e 3 kGy foram efetiva na destruição de Salmonella em carne de peru. Archajee et al. (2013) afirmaram que o uso da dose 3 kGy garantiu a eliminação de Salmonella de carne de peixe e não causou alterações nas propriedades do alimento.

Miyagusku et al. (2003) relataram que a dose de 3,0 kGy foi eficiente para eliminar Escherichia coli da carne de frango. Kamat et al. (2005) encontraram em sua pesquisa que o valor D10 para a E. Coli é de 0,12 a 0,26 kGy em cenouras e concluem que uma dose de 2 kGy é eficiente para a eliminação desse microrganismo. Lima et al. (2020) encontraram que uma dose 0,84 kGy é a dose necessária para inativar 90% de E. coli.

4.7. Aspectos sensoriais

Nas pesquisas apresentadas nessa revisão, alguns autores relataram mudanças sensoriais nos alimentos irradiados, sendo o odor depreciativo a mudança indesejável mais relatada, essa mudança ocorreu em alimentos como carne de porco (Ahn et al., 1998; Li et al., 2017), bacon (Dempster; Mcguire; Halls, 1986), presunto (Houser; Sebranek; Lonergan, 2003; Houser et al., 2005), carne de peru (Lynch; Macfie; Mead, 1991) e carne de frango (Miyagusku et al., 2003). O odor foi comparado com o cheiro de enxofre ou de queimado, mas autores como Li et al. (2017) afirmaram que isso dependia da dosagem. Em carnes de frango (Leonel, 2008) e peru (Lynch; Macfie; Mead, 1991) foi relatado aumento na intensidade do vermelho e redução do amarelo.

Em cereais foi observado a redução de viscosidade (Kumar et al., 2017) do arroz. Em contrapartida, o alimento apresentou um aumento na intensidade do sabor e aroma após a irradiação (SANSENYA et al., 2016).

Gutierrez et al. (2004) relataram mudanças na cor, textura e gosto do queijo prato, o alimento apresentou uma cor mais pálida, o amarelo e vermelho diminuíram. Hashisaka et al. (1989) afirmaram que a irradiação induziu odor depreciativo no sorvete de baunilha.

Rand et al. (2010) relatou que a irradiação diminui a qualidade do abacate. McDonald et al. (2012) afirmaram que a irradiação afetou a cor, suculência e textura dos pêssegos. Nayak et al. (2007) relataram a mudança ocorrida no tecido da cenoura, batata e beterraba após a irradiação.

4.8. Aspectos nutricionais

Em carnes, Ornellas et al. (2005) relataram mudanças nos ácidos graxos, Ahn et al. (1998), Houser et al. (2006) e Feng et al. (2017) observaram o aceleramento da oxidação lipídica, Byun et al. (1999) observaram o aumento da peroxidação.

Singh; Datta (2010a) e Singh; Datta (2010b) explicaram que a irradiação melhorou a nutrição dos pés de trigo, principalmente em relação aos micronutrientes.

Wu et al. (2002), Kumar et al. (2017), Sultan; Wani; Masoodi (2018) evidenciaram que a irradiação causou alterações nos teores de amilose, redução na cristalinidade dos amidos, aumento da solubilidade e melhora das, propriedades antioxidantes.

Em relação aos laticínios, para os trabalhos avaliados, não foram relatadas mudanças nutricionais nos alimentos irradiados.

Bustos et al. (2004), Singh; Pal (2009), Maraei; Elsawy (2016) relataram a redução de vitamina C. Nassur et al. (2016) relataram aumento no índice de antocianinas.

4.9. Aspectos toxicológicos

Os autores utilizados ao longo desse trabalho não realizaram nenhum teste toxicológico nos alimentos irradiados.

5. TENDÊNCIAS E INOVAÇÃO NA ÁREA

5.1. Crescimento do uso da tecnologia

Segundo o relatório "*Food Irradiation Trends - Global Market Trajectory & Analytics*" publicado pelo *Global Industry Analysts Inc* (GIA) em meio à crise do Covid-19, o mercado global de irradiação de alimentos estimado em US$ 200 milhões no ano de 2020 está projetado para atingir um tamanho revisado de US$ 276,7 milhões em 2026, crescendo em torno de 3,8% CAGR (*Compound Annual Growth Rate*). No relatório "*Food Irradiation Market Outlook to* 2026" publicado pela *Advance Market Analytics* (AMA), os autores afirmam que os Estados Unidos da América (EUA) liderarão o mercado de irradiação de alimentos nos próximos anos, o crescimento do mercado norte-americano é impulsionado pela crescente conscientização do consumidor sobre a importância da irradiação de alimentos e pela crescente adoção de tecnologias emergentes na região. A China, segunda maior economia do mundo, também terá uma grande importância no crescimento de mercado desse método, seguido por países como Japão, Canadá e Alemanha.

De acordo com o relatório "*Global Food Irradiation Market- Industry Analysis and Forecast* (2020-2027) - *by Source of radiation, Food Type and by region* publicado pela *Maximize Market Research*, por região:

> *A Ásia-Pacífico teve a maior participação de mercado em 2019 no uso de irradiação de alimentos, e deve manter sua grande participação no período previsto do estudo, devido a crescente aceitação do consumidor e as regulamentações e políticas relacionadas ao consumo de alimentos irradiados. Os países que fazem parte desse bloco assinaram o Acordo de Cooperação Regional (RCA) sobre o uso da irradiação de alimentos com o apoio da FAO e da AIEA. A Austrália e Nova Zelândia recentemente unificaram todo o seu sistema regulatório relacionado a alimentos, incluindo processamento de radiação. A maioria dos países da região já adotou o Codex General Standard e o Codex Code of Practice para o controle da irradiação de alimentos comerciais.*

Segundo o relatório publicado pela AMA, há alguns fatores que impulsionarão o crescimento da irradiação ionizante no mundo, dentre eles:

- A conscientização dos consumidores sobre doenças causadas por alimentos contaminados tem crescido;
- O consumidor moderno tem mais tendência em aceitar alimentos irradiados;
- A comunidade científica tem buscado meios de informar e aumentar a aceitação da irradiação ionizante;
- Aumento no consumo de carne e alimentos crus que podem ser protegidos de microrganismos fazendo uso da irradiação.

5.2. Método de irradiação mais utilizado e alimentos mais irradiados

O relatório "Global Food Irradiation Trends Industry", publicado pelo Report Link, afirma que em 2019 a radiação gama detinha a maior participação nesse mercado e espera-se que seu domínio se mantenha. A radiação de feixe de elétrons também terá um crescimento expressivo durante o período previsto, sendo a China que mais utilizará essa fonte de radiação, seguida por Austrália, Índia e Coréia do Sul.

Ainda de acordo com o relatório publicado pelo Report Link, por tipo de alimento, espera-se que a irradiação ionizante de carnes e aves mantenha a maior participação de mercado durante o período de previsão, graças à crescente demanda por produtos cárneos, os EUA têm irradiado carne cruas a bastante tempo, e terá papel importante no crescimento desse segmento nos próximos anos. A irradiação de frutas e vegetais frescos, devem crescer no período descrito, impulsionado pelo consumo de alimentos crus, como alface e espinafre, além disso essa tecnologia tem sido cada vez mais utilizada como método fitossanitário. As especiarias, ervas e temperos secos também são produtos alimentícios comumente irradiados em todo o mundo, isso deve se manter nos próximos anos.

5.3. Inovações no setor

Em 2019 a IAEA realizou uma reunião com consultores cujo o tema foi "Inovação de tecnologias de irradiação no tratamento da superfície de produtos alimentícios", o ponto principal abordado foi o uso de feixe de elétrons de baixa energia (LEEB). O relatório emitido nessa reunião afirma que:

Devido a crescente pressão para as reduções de emissões de dióxido de carbono, um uso mais eficiente da água, evitar produtos químicos e reduzir as demandas de energia na indústria alimentícia, levaram a uma nova abordagem para o processamento de radiação de alimentos e produtos agrícolas usando feixes de elétrons. LEEB são energeticamente eficientes e são eficazes para descontaminar superfícies, mas a penetração é fraca, uma parte do alimento fica sem tratamento. Isso está em contraste com a irradiação convencional (por exemplo, com elétrons de alta energia, raios gama ou raios-x), onde todo o volume de alimento é irradiado. Mas em muitos casos, a irradiação de alimentos usando feixes de baixa energia pode ser suficiente para eliminar patógenos, insetos e organismos deterioradores.

Os consultores da IAEA (2019) concluíram que LEEB podem ser a solução para as possíveis necessidades da indústria de alimentos, há pesquisas em desenvolvimento em diferentes continentes sobre o uso dessa tecnologia e novos dispositivos deverão ser desenvolvidos, espera-se que seu uso se torne mais efetivo nos próximos anos dentro da indústria após novas pesquisas, principalmente na China.

5.4. Perspectivas

As perspectivas em relação ao uso da irradiação de alimentos são diversas, visando desde reduzir o desperdício de alimentos a segurança microbiológica. As combinações de tratamentos de irradiação com outras técnicas de preservação provavelmente serão mais comumente aplicadas comercialmente aos alimentos nos próximos anos. Estudos para melhorar a qualidade sensorial de alimentos irradiados com altas doses devem ocorrer com maior efetividade nos anos subsequentes (CASTELL-PEREZ et al. 2020).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) passou a discutir sobre o uso da irradiação ionizante em alimentos como opção para evitar desperdícios e aumentar importações. Foram traçadas metas, dentre elas, está informar a população sobre as vantagens da tecnologia, construção de irradiador e a instituição de um grupo de trabalho técnico conforme a portaria n°66 (Brasil, 2021).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos químicos, físicos e sensoriais da irradiação em alimentos vem sendo estudados e por ser uma tecnologia que ioniza a matéria, algumas alterações podem ocorrer. As modificações mais relatadas são a formação de odor desagradável em alguns alimentos, sabor estranho, alteração na textura e redução de micronutrientes. A tecnologia ainda está em construção, devido a isso faltam trabalhos sobre os efeitos da irradiação em enzimas.

Essa tecnologia encontra nos consumidores um grande obstáculo para que seu crescimento seja maior, já que há uma desconfiança sobre sua utilização. Alguns pesquisadores afirmam que quando o consumidor passa a ter um entendimento sobre o assunto, tende a aceitar alimentos irradiados, estando atrelado a não aceitação do consumidor à falta de conhecimento sobre o tema.

É perceptível que pesquisas sobre o uso da irradiação com raios gamas em carnes é facilmente encontrado na literatura, há bastante material sobre o assunto, abordando desde a eliminação de microrganismos desse alimento, a trabalhos voltados especificamente para as alterações causadas na carne após a irradiação, porém há uma dificuldade em encontrar trabalhos mais recentes sobre o assunto, o mesmo ocorre com frutas e vegetais. Trabalhos sobre a irradiação em leite são escassos, assim como nos seus derivados. Encontrar trabalhos sobre a irradiação em cereais foi uma grande dificuldade, ficando em aberto que próximos trabalhos dessa autora seja sobre a irradiação em cereais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. G. Caracterização sensorial e análise bacteriológica do peixe-sapo (Lophius gastrophysus) refrigerado e irradiado. 2005. 90f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) -Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

ACHARJEE, Mrityunjoy et al. Validation of γ-irradiation in controlling microorganisms in fish. Nutrition & Food Science, 2014.

AHN, Dong U. et al. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. Meat Science, v. 49, n. 1, p. 27-39, 1998.

AQUINO, Kátia Aparecida da Silva. Esterilização por irradiação gama. Radiação gama, v. 9, p. 172-202, 2012.

ANDREWS, L. S. et al. Food preservation using ionizing radiation. Reviews of environmental contamination and toxicology, p. 1-53, 1998.

ARVANITOYANNIS, Ioannis S.; STRATAKOS, Alexandros; MENTE, Elena. Impact of irradiation on fish and seafood shelf life: a comprehensive review of applications and irradiation detection. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 49, n. 1, p. 68-112, 2008.

ARVANITOYANNIS, Ioannis S.; STRATAKOS, Alexandros Ch; TSAROUHAS, Panagiotis. Irradiation applications in vegetables and fruits: a review. Critical reviews in food science and nutrition, v. 49, n. 5, p. 427-462, 2009.

ASHRAF, S. et al. Food irradiation: A review. Int. J. Chem. Stud, v. 7, n. 2, p. 131-136, 2019.

AYARI, Samia et al. Effects of gamma radiation, individually and in combination with bioactive agents, on microbiological and physicochemical properties of ground beef. Food control, v. 64, p. 173-180, 2016.

BADR, H. M. Control of the potential health hazards of smoked fish by gamma irradiation. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, v. 154, n. 3, p. 177-186, 2012a.

BADR, Hesham M. et al. Improving the microbial safety of ice cream by gamma irradiation. Food and Public Health, v. 2, n. 2, p. 40-49, 2012b.

BAGHEL, B. S. et al. Effect of different doses of gamma radiation on shelf-life of guava. Indian Journal of Horticulture, v. 62, n. 2, p. 129-132, 2005.

BOUGLE, Dominique L.; STAHL, Valerie. Survival of Listeria monocytogenes After Irradiation Treatment of Camembert Cheeses Made from Raw Milk. Journal of food protection, v. 57, n. 9, p. 811-813, 1994.

BORJES, Lúcia Chaise; CAVALLI, Suzi Barletto; PROENÇA, Rossana Pacheco da Costa. Proposta de classificação de vegetais considerando características nutricionais, sensoriais e de técnicas de preparação. Revista de Nutrição, v. 23, p. 645-654, 2010.

BRASIL. Decreto-Lei n° 986/PR, de 21 de outubro de 1969. Institui normas básicas sobre alimentos.

BRASIL. Decreto N° 72.718, de 29 de agosto de 1973. Estabelece Normas Gerais sobre Irradiação de Alimentos. Diário Oficial da União. Brasília, 30 de agosto de 1973.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico para irradiação de alimentos, constante do anexo desta resolução. Diário Oficial da União; Poder Executivo. 29 de janeiro de 2001. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/Resolucao_RDC_n_21_de_26_de_janeiro_de_2001.pdf. Acesso em 26 de junho de 2021

BRASIL. Portaria N° 66, de 30 de março de 2021. Institui o Grupo de Trabalho Técnico de avaliação de irradiadores multipropósito no âmbito do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União. Brasília, 30 de março de 2021.

BRITO, José Renaldi F.; BRITO, José Renaldi Feitosa. A qualidade do leite. 1998.

BUSTOS, María E. et al. Irradiation of mangoes as a postharvest quarantine treatment for fruit flies (Diptera: Tephritidae). Journal of Economic Entomology, v. 97, n. 2, p. 286-292, 2004.

BYUN, MYUNG-WOO et al. The improvement of color and shelf life of ham by gamma irradiation. Journal of food protection, v. 62, n. 10, p. 1162-1166, 1999.

CARNEIRO DA SILVA, C. J. G. et al. Efeitos da radiacao gama na conservacao de variedades de cebola (Allium cepa) da reg'iao do Sao Francisco, Pernambuco. Pesq. agropec. bras. Ser Agron., v. 10, p. 53, 1975.

CASTELL-PEREZ, M. Elena; MOREIRA, Rosana G. Irradiation and consumers acceptance. Innovative Food Processing Technologies, p. 122, 2021.

CHEN, Y. J. et al. Effect of low dose gamma irradiation on beef quality and fatty acid composition of beef intramuscular lipid. Meat science, v. 75, n. 3, p. 423-431, 2007.

COSTA, Fabio Da. Caracterização do processo de rigor mortis e da maciez dos músculos gastrocnemius e pectoralis e efeito da radiação gama na vida comercial da carne de peru (meleagris gallopavo). 2006.

CROCI, C. A.; CURZIO, O. A. THE INFLUENCE OF GAMMA IRRADIATION ON THE STORAGE LIFE OF "RED" VARIETY GARLIC. Journal of Food Processing and Preservation, v. 7, n. 3, p. 179-183, 1983.

DEL MASTRO, Nelida Lucia. Development of food irradiation in Brazil. Progress in Nuclear Energy, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

DEMPSTER, J. F. Radiation preservation of meat and meat products: A review. Meat Science, v. 12, n. 2, p. 61-89, 1985.

DEMPSTER, J. F.; MCGUIRE, L.; HALLS, N. A. Effect of gamma radiation on the quality of bacon. Food microbiology, v. 3, n. 1, p. 13-17, 1986.

DE OLIVEIRA SILVA, Adriana Cristina et al. Effect of gamma irradiation on the bacteriological and sensory analysis of raw whole milk under refrigeration. Journal of food processing and preservation, v. 39, n. 6, p. 2404-2411, 2015.

DESOUKY, Omar; DING, Nan; ZHOU, Guangming. Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, v. 8, n. 2, p. 247-254, 2015.

DUTRA, Camila BRAGA; RATH, S.; GUILLERMO REYES REYES, F. Nitrosaminas voláteis em alimentos. Alimentos e Nutrição Araraquara, v. 18, n. 1, p. 111-120, 2008.

EHLERMANN, Dieter AE. Particular applications of food irradiation: Meat, fish and others. Radiation Physics and Chemistry, v. 129, p. 53-57, 2016.

FANTE, Camila Argenta et al. Atividade antioxidante durante o armazenamento de maçãs submetidas à irradiação. Ciência e Agrotecnologia , v. 39, p. 269-275, 2015.

FARBER, Jeffrey M.; PETERKIN, P. I. Listeria monocytogenes, a food-borne pathogen. Microbiological reviews, v. 55, n. 3, p. 476-511, 1991.

FARENZENA, L.S. Radioatividade e suas unidades. UFSC. Disponível em: < https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/954287/mod_resource/content/1/unidades_radioatividade.pdf >. Acesso em 18 de junho de 2021.

FARKAS, J. Decontamination, including parasite control, of dried, chilled and frozen foods by irradiation. Acta Alimentaria, v. 16, n. 4, p. 351-384, 1987.

FENG, Xi et al. Effect of irradiation on the parameters that influence quality characteristics of raw turkey breast meat. Radiation Physics and Chemistry, v. 130, p. 40-46, 2017.

FEITOSA, T. Contaminação, conservação e alteração da carne. Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E), 1999.

FERREIRA, Alexandra dos Santos et al. Normas nacionais para beneficiamento em irradiação de alimentos. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 43201-43213, 2020.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Codex Alimentarius. General standard for irradiated foods. CODEX STAN 106-1983 (Rev.1-2003). Disponível em: <http://www.fao.org/input/download/standards/16/CXS_106e.pdf>. Acesso em 23 de junho de 2021.

Food Irradiation Comprehensive Study by Food type (Fruits and Vegetables, Spices, Grain Foods, Meat and Poultry), Sources or radiation (Gamma rays, X rays, Electron beam), Dose (High, Low) Players and Region - Global Market Outlook to 2026. AMA, 2021. Disponível em: < https://www.advancemarketanalytics.com/reports/11384-global-food-irradiation-market >. Acesso em 7 de novembro de 2021.

Food Safety Brazil. Radura. Disponível em : < https://foodsafetybrazil.org/perigos-radiologicos-foram-levantados-no-seu-plano-haccp/radura-2/ >. Acesso em 30 de junho de 2021.

Food Irradiation Trends - Global Market Trajectory & Analytics. Research and Markets, 2021. Disponível em: < https://www.researchandmarkets.com/reports/338681/food_irradiation_trends_global_market?utm_source=BW&utm_medium=PressRelease&utm_code=94xt2h&utm_campaign=1548916+-+Global+Food+Irradiation+Trends+Market+to+Reach+%24307.4+Million+by+2027&utm_exec=cari18prd>. Acesso em 12 de novembro de 2021.

FORSYTHE, S. J. (Ed.). Food hygiene, microbiology and HACCP. Third Edition. (Chapman and Hall Food Science Book). Maryland, 1998. p.138-148.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. São. Paulo: Ed. Atheneu, 2008.

FRANÇOSO, Iara Luiza Tassim et al. Alterações fisico-químicas em morangos (Fragaria anassa Duch.) irradiados e armazenados. Food Science and Technology, v. 28, p. 614-619, 2008.

FU, AN HUNG; SEBRANEK, J. G.; MURANO, E. A. Survival of Listeria monocytogenes, Yersinia enterocolitica and Escherichia coli O157: H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef. Journal of Food Science, v. 60, n. 5, p. 972-977, 1995a.

FU, AN HUNG; SEBRANEK, J. G.; MURANO, E. A. Survival of Listeria monocytogenes and Salmonella typhimurium and quality attributes of cooked pork chops and cured ham after irradiation. Journal of food science, v. 60, n. 5, p. 1001-1005, 1995b.

GANGULY, Subha; MUKHOPADHAYAY, Sunit Kumar; BISWAS, Subhasish. Preservation of food items by irradiation process. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, v. 1, n. 2012, p. 11-13, 2012.

GERMANO, P.M.L.; OLIVEIRA, J.C.F.; GERMANO, M.I.S. Aspectos da qualidade do pescado de relevância em saúde pública. Higiene Alimentar, v.12, n.53, p30-37, 1998.

GERMANO, R.M. de A.; ARTHUR, V.; WIENDL, F. M. Conservação pós-colheita de abacates Persia americana Mill., variedades Fortuna e Quintal, por irradiação. Scientia Agrícola, v. 53, p. 249-253, 1996.

Global Food Irradiation Market – Industry Analysis and Forecast (2020-2027) – by Source of radiation, Food type and by Region. Maximize market research, 2021. Disponível em: < https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-food-irradiation-market/23590/ >. Acesso em 20 de novembro de 2021.

Global Food Irradiation Trends Industry. Globe newswire, 2021. Disponível em: < https://www.globenewswire.com/news-release/2020/08/21/2082035/0/en/Global-Food-Irradiation-Trends-Industry.html >. Acesso em 17 de dezembro de 2021.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. Ciência e qualidade da carne: fundamentos. 1 ed. Viçosa: UFV, 2013. 197 p.

GOPAL, N. G. S. Radiation sterilization of pharmaceuticals and polymers. Radiation Physics and Chemistry (1977), v. 12, n. 1-2, p. 35-50, 1978.

GORESLINE, H. E.; PROOST, M. de. Training manual on food irradiation technology and techniques. IAEA, 1970.

GUIMARÃES, IC de O. Efeito da irradiação gama (Co60) na qualidade e segurança do arroz. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG).

GUTIERREZ, Érika Maria Roel. Efeito da radiação gama na maturação do queijo prato. 2001. Tese de Doutorado. Piracicaba, SP (Brazil).

HASHISAKA, Ann E.; WEAGANT, Stephen D.; DONG, Faye M. Survival of Listeria monocytogenes in mozzarella cheese and ice cream exposed to gamma irradiation. Journal of food protection, v. 52, n. 7, p. 490-492, 1989.

HOUSER, Terry Andrew; SEBRANEK, J. G.; LONERGAN, S. M. Effects of irradiation on properties of cured ham. Journal of food science, v. 68, n. 7, p. 2362-2365, 2003.

HOUSER, Terry A. et al. The effects of irradiation at 1.6 kGy on quality characteristics of commercially produced ham and pork frankfurters over extended storage. Journal of food science, v. 70, n. 4, p. S262-S266, 2005.

HUSSAIN, P. R. et al. Studies on enhancing the keeping quality of peach (Prunus persica Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation. Radiation Physics and Chemistry, v. 77, n. 4, p. 473-481, 2008.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Food Irradiation and the Changing Climate. Disponível em: < https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/videos/food-irradiation-and-the-changing-climate >. Acesso em 20 de novembro.

International Atomic Energy Agency (IAEA). Innovation of Irradiation Technologies on Surface Treatment of Food Commodities. Disponível em: < http://www-naweb.iaea.org/nafa/fep/CM_Report_Oct_2019_FINAL_web_version.pdf >. Acesso em 22 de novembro de 2021.

JO, Cheorun et al. Radiation sensitivity of selected pathogens in ice cream. Food Control, v. 18, n. 7, p. 859-865, 2007.

JOUKI, M. Evaluation of gamma irradiation and frozen storage on microbial load and physico-chemical quality of turkey breast meat. Radiation Physics and Chemistry, v. 85, p. 243-245, 2013.

JUNIOR, M. F.; VITAL, H. C. Irradiação. Agencia Embrapa de Informação Tecnologica (AGEITEC). Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fjlb22hl02wyiv80sq98yq94hs31y.html>. Acesso em 3 de julho de 2021.

JÚNIOR, Ary de Araújo Rodrigues. Irradiadores industriais e sua radioproteção. 2014.

KAMAT, Anu et al. Low-dose irradiation as a measure to improve microbial quality of ice cream. International journal of food microbiology, v. 62, n. 1-2, p. 27-35, 2000.

KAMAT, A. S. et al. Effect of low dose irradiation on shelf life and microbiological safety of sliced carrot. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 85, n. 13, p. 2213-2219, 2005.

KANATT, Sweetie R.; CHANDER, Ramesh; SHARMA, Arun. Effect of radiation processing on the quality of chilled meat products. Meat science, v. 69, n. 2, p. 269-275, 2005.

KANG, Il-Jun et al. Production of modified starches by gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, v. 54, n. 4, p. 425-430, 1999.

KIM, Kyoung-Hee et al. Inactivation of contaminated fungi and antioxidant effects of peach (Prunus persica L. Batsch cv Dangeumdo) by 0.5–2 kGy gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, v. 79, n. 4, p. 495-501, 2010.

KUMAR, Pawan et al. Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review. Life Sciences and Medicine Research, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2011.

KUMAR, Pradeep et al. Effects of gamma irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of brown rice starch. Journal of cereal science, v. 77, p. 194-200, 2017.

KWON, J. H.; BYUN, M. W.; CHO, H. O. Effects of gamma irradiation dose and timing of treatment after harvest on the storeability of garlic bulbs. Journal of food science, v. 50, n. 2, p. 379-381, 1985.

LADEIRA, Luiz Carlos Duarte. O que é irradiação de alimentos. Revista Eco 21, Rio de Janeiro, Setembro-Outubro de 1999. < Disponível em: < http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=695 >. Acesso em 20 de junho de 2021

LAGUNAS-SOLAR, Manuel C. Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status. Journal of Food Protection, v. 58, n. 2, p. 186-192, 1995.

LEONARDI, Ana Lúcia; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin; ARTHUR, Valter. Disponibilidade de cálcio em leite bovino tratado por raios gama. Food Science and Technology, v. 31, p. 31-40, 2011.

LEONEL, Fábio Roberto. Irradiação e qualidade da carne de frango congelada e embalada a vácuo. 2008.

LEVY, Denise S.; SORDI, Gian Maria Agostino Angelo; VILLAVICENCIO, Anna Lucia Casanas Haasis. Construindo pontes entre ciência e sociedade: divulgação científica sobre irradiação de alimentos. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 6, n. 1, 2018.

LEVY, Denise; SORDI, Gian MAA; VILLAVICENCIO, Anna Lucia CH. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v. 8, n. 3, 2020.

LI, Chengliang et al. Effect of different irradiation dose treatment on the lipid oxidation, instrumental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage. Meat science, v. 128, p. 68-76, 2017.

LIMA, Fabiana Regina et al. Radiossensibilidade da Listeria monocytogenes, Salmonella enteritidis e Escherichia coli em leite tratado por irradiação gama. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 84825-84835, 2020.

LYNCH, J. A.; MACFIE, H. J. H.; MEAD, G. C. Effect of irradiation and packaging type on sensory quality of chill stored turkey breast fillets. International journal of food science & technology, v. 26, n. 6, p. 653-668, 1991.

MANUPRIYA, B. R. et al. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (Triticum aestivum, L.). Radiation Physics and Chemistry, v. 172, p. 108693, 2020.

Mapa discute o uso de irradiação em alimentos no Brasil como opção para evitar desperdícios. GOV, 2021. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-discute-o-uso-de-irradiacao-em-alimentos-no-brasil-como-opcao-para-evitar-desperdicios >. Acesso em 29 de junho de 2021.

MARAEI, Rabab W.; ELSAWY, Khaled M. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ-irradiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, v. 10, n. 1, p. 80-87, 2017.

MARATHE, S. A. et al. Extension of shelf life of whole wheat flour by gamma radiation. International journal of food science & technology, v. 37, n. 2, p. 163-168, 2002.

MARCHIONI, E. Irradiacao de alimentos: tecnologia a favor da saúde. Revista Brasil Nuclear, v. 11, n. 29, 2006. Disponivel em:<http://www.aben.com.br/html/topico.php?Cd_Revista_Topico=2>. Acesso em 16 de julho de 2021.

MARIANO, Carlos Otavio. Efeitos da radiação gama na conservação da carne bovina refrigerada. 2004. Tese de Doutorado. PhD Thesis, Center of Nuclear Energy in Agricultural, CENA/USP. Piracicaba, São Paulo, Brazil.

MCDONALD, Heather et al. Commercial scale irradiation for insect disinfestation preserves peach quality. Radiation Physics and Chemistry, v. 81, n. 6, p. 697-704, 2012.

MENDES, N. et al. Utilização da irradiação no tratamento de alimentos. Escola Superior Agrária de Coimbra, p. 17. 2010.

MITCHELL, G. E. et al. Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. Journal of Food Composition and Analysis, v. 5, n. 4, p. 291-311, 1992.

MIYAGUSKU, L. et al. Avaliação microbiológica e sensorial da vida-útil de cortes de peito de frango irradiados. Food Science and Technology, v. 23, p. 7-16, 2003.

MODANEZ, Leila. Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de educação. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MONTEIRO, Maria LG; MÁRSICO, Eliane T.; VITAL, Helio C. Avaliação físico-química dos efeitos da irradiação e da evisceração na conservação de atum (Thunnus atlanticus) refrigerado. [Physicochemical evaluations of the effects of irradiation and evisceration on the conservation of refrigerated blackfin tuna (Thunnus atlanticus)]. Rev. Port. Ciênc. Vet, v. 105, p. 45-48, 2010.

MOY, James H. Efficacy of irradiation vs thermal methods as quarantine treatments for tropical fruits. Radiation Physics and Chemistry, v. 42, n. 1-3, p. 269-272, 1993.

NASSUR, Rita de Cássia Mirela Resende et al. Doses de radiação gama na conservação da qualidade de morangos. Comunicata Scientiae, v. 7, n. 1, p. 38-48, 2016.

NAYAK, Chetan A. et al. Effect of gamma irradiation on histological and textural properties of carrot, potato and beetroot. Journal of Food Engineering, v. 79, n. 3, p. 765-770, 2007.

NEOPROSPECTA. Microrganismos contaminantes em grãos. Disponível em: < https://blog.neoprospecta.com/microrganismos-contaminantes-graos/ >. Acesso em 19 de agosto de 2021

NESPOLO, C. R. et al. Práticas em tecnologia de alimentos. Porto Alegre: Artmed, 2015.

NUNES, Patrícia et al. Os mitos e as verdades da irradiação de alimentos. Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-PERNAMBUCO, v. 1, n. 3, p. 103-110, 2014.

O'BEIRNE, DAVID. Irradiation of fruits and vegetables: applications and issues. Professional Horticulture, v. 3, n. 1, p. 12-19, 1989.

ODUEKE, Oluwakemi B. et al. Irradiation applications in dairy products: a review. Food and Bioprocess Technology, v. 9, n. 5, p. 751-767, 2016.

OLIVEIRA SILVA, Adriana Cristina de et al. Effect of gamma irradiation on the bacteriological and sensory analysis of raw whole milk under refrigeration. Journal of food processing and preservation, v. 39, n. 6, p. 2404-2411, 2015.

OLIVEIRA, A. L. et al. Qualidade microbiológica da carne de frango irradiada em embalagem convencional e a vácuo. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 61, n. 5, p. 1210-1217, 2009.

OLIVEIRA, KELLY CRISTINA FREIRE DE et al. IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS: EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL DE FRUTAS E LEGUMES. Saúde & Ambiente em Revista, v. 7, n. 2, p. 52-57, 2012.

OLIVEIRA, Silvia Maria Velasques de et al. Aplicações da energia nuclear na saúde. 2017.

Organização Pan-Americana da Saúde. Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos. Washington, D.C.: OPAS; 2019.

OLIVO, RUBISON; RIBEIRO, LAIR GERALDO THEODORO. NOVOS CONCEITOS SOBRE NITRATOS E NITRITOS. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research, São Paulo, 2018, v. 24, n. 3, p. 115-125.

ORDOÑEZ, J.A. Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

ORNELLAS, C. B. D. Avaliação do efeito da irradiação gama sobre a qualidade microbiológica, físico-química e sensorial de carne bovina moída. 2005.

ORNELLAS, Cléia Batista Dias et al. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. Food Science and Technology, v. 26, n. 1, p. 211-213, 2006.

OUATTARA, Blaise et al. Combined effect of gamma irradiation, ascorbic acid, and edible coating on the improvement of microbial and biochemical characteristics of ground beef. Journal of food protection, v. 65, n. 6, p. 981-987, 2002.

PELLEGRINI, Cecilia Noemí; CROCI, Clara Ana; ORIOLI, Gustavo Adolfo. Morphological changes induced by different doses of gamma irradiation in garlic sprouts. Radiation Physics and Chemistry, v. 57, n. 3-6, p. 315-318, 2000.

PIERSON, Merle D.; SMOOT, Leslie A.; ROBACH, Michael C. Nitrite, nitrite alternatives, and the control of Clostridium botulinum in cured meats. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, v. 17, n. 2, p. 141-187, 1983.

PIETRANERA, MS Adeil et al. Irradiated icecreams for immunosuppressed patients. Radiation Physics and Chemistry, v. 66, n. 5, p. 357-365, 2003.

Processamento de Cereais. Curso técnico em Agroindústria. Escola Estadual de Educação Profissional – EEPP, Ceará, 2011.

RAND, N. du et al. The effect of gamma irradiation on the internal and external quality of avocados. South African Avocado Growers' Association Yearbook, v. 33, p. 48-52, 2010.

ROBERTS, Peter B. Food irradiation is safe: Half a century of studies. Radiation Physics and Chemistry, v. 105, p. 78-82, 2014.

ROBERTS, Peter B. Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. Radiation Physics and Chemistry, v. 129, p. 30-34, 2016.

RODRIGUES, Gabriella Vieira. Panorama e perspectivas do uso de irradiação na conservação de alimentos. 2019.

RODRIGUES, William Costa et al. Metodologia científica. Faetec/IST. Paracambi, p. 2-20, 2007.

ROWLEY, DURWOOD B. et al. Effect of irradiation on the inhibition of Clostridium botulinum toxin production and the microbial flora in bacon. Journal of food science, v. 48, n. 4, p. 1016-1021, 1983.

SÁ, Ana Paula Nunes de et al. Effect of ionizing radiation on traditional and bacon "farofa". Radiation Physics and Chemistry, v. 179, p. 109109, 2021.

SALLES, Letícia Raquel; PASSOS, Anderson Gonçalves. A importância da irradiação de alimentos no Brasil. NIP/ICESP. 2015.

SAHA, Gopal B. Physics and radiobiology of nuclear medicine. Springer Science & Business Media, 2012.

SANSENYA, Sompong et al. Effect of gamma irradiation on 2-Acetyl-1-pyrroline content, GABA content and volatile compounds of germinated rice (Thai upland rice). Plants, v. 6, n. 2, p. 18, 2017.

SANTOS, Victor. Radioatividade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2020.

SAU, Sayan et al. Impact of low doses of gamma irradiation on off-season guava at ambient storage condition. stress (Meena et al., 2014), v. 7, p. 8, 2018.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. Cortez editora, 2017.

SHACKELFORD, A. D. Modifications of processing methods to control Salmonella in poultry. Poultry science, v. 67, n. 6, p. 933-935, 1988.

SHARMA, Pallavi et al. Variation in quality and acceptability of minimally processed garlic in response to γ-irradiation and packaging during refrigerated storage. Radiation Physics and Chemistry, v. 180, p. 109193, 2021.

SILVA, ANDRÉA LUCIANE FERREIRA DA; DA ROZA, CLEBER RABELO. Uso da irradiação em alimentos: revisão. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 28, n. 1, 2010.

SILVA, Clemente JG Carneiro da et al. Efeitos da radiação gama na conservação de variedades de cebola (Allium cepa) da região do São Francisco, Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 10, n. 11, p. 53-57, 1975.

SILVA, Érica Flávia Sá. Irradiação em alimentos. 2007. 48 f. Trabalho monográfico de conclusão do curso de Especialização Latu Sensu em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal (TCC), apresentado à UCB/ QUALITTAS (Especialista em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal) - Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, João Klausen Ramos da et al. Irradiação de alimentos: uma revisão integrativa da literatura. 2018.

SILVA, Renato César da; DA SILVA, Roberta Maria; AQUINO, Kátia Aparecida S. A interação da radiação gama com a matéria no processo de esterilização. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 6, p. 1624-1641, 2014.

SILVA, Roberta Claro da. Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Sandra Aparecida Pereira da; FERREIRA, Luelma Leal de Sousa, VALGAS, Glécio Oliveira. A conservação de alimentos utilizando a irradiação e sua importância na conservação do arroz. NIP/ICESP, 2015.

SILVA, Kelly Daiane et al. Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência. Food Science and Technology, v. 30, p. 645-651, 2010.

SMITH, J.S.; PILLAI, S.P. Irradiation and Food Safety. Food Technology Magazine, v.58, novembro, 2004.

SINGER, Carolina S.; SABATO, S. F.; TADINI, Carmen C. Bread making properties of flour produced from irradiated wheat. In: International Symposium on Future of Food Engineering. Warsaw, Poland: CIGR, 2006.

SINGH, Bhupinder; DATTA, P. S. Gamma irradiation to improve plant vigour, grain development, and yield attributes of wheat. Radiation Physics and Chemistry, v. 79, n. 2, p. 139-143, 2010a.

SINGH, Bhupinder; DATTA, Partha Sarathi. Effect of low dose gamma irradiation on plant and grain nutrition of wheat. Radiation Physics and Chemistry, v. 79, n. 8, p. 819-825, 2010b.

SINGH, Harwant. Radiation preservation of low nitrite bacon. International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part C. Radiation Physics and Chemistry, v. 31, n. 1-3, p. 165-179, 1988.

SINGH, S. P.; PAL, R. K. Ionizing radiation treatment to improve postharvest life and maintain quality of fresh guava fruit. Radiation Physics and Chemistry, v. 78, n. 2, p. 135-140, 2009.

SIQUEIRA, Alessandra Aparecida Zilio Cozzo de. Efeitos da irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da tilápia (Oreochromis niloticus). 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SONG, Hyun-Pa et al. Effects of gamma irradiation on the microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice. Food Control, v. 18, n. 1, p. 5-10, 2007.

SOUSA, Thaynna Leocádio Trajano Lacerda et al. Vantagens e desvantagens da irradiação na conservação de alimentos. CEP, v. 52171, p. 900, 2013.

STADEN, O. L. A review of the potential of fruit and vegetable irradiation. Scientia Horticulturae, v. 1, n. 4, p. 291-308, 1973.

STEWART, F. A. et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs–threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Annals of the ICRP, v. 41, n. 1-2, p. 1-322, 2012.

SULTAN, Neelofar; WANI, Idrees Ahmed; MASOODI, Farooq Ahmad. Moisture mediated effects of γ-irradiation on physicochemical, functional, and antioxidant properties of pigmented brown rice (Oryza sativa L.) flour. Journal of Cereal Science, v. 79, p. 399-407, 2018.

TAKEITI, C.Y. Cereais e Grãos. Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC). Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid57plx02wyiv80z4s47384pdxjo.html >. Acesso em 10 de julho de 2021.

TEIXEIRA, Christian Alexandre Heinz Melsheimer. Efeito da radiação ionizante em diferentes tipos de farinhas utilizadas em tecnologia de panificação. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V. et al. Radiação Gama em Alimentos de Origem Vegetal. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2015.

TORREZAN, Renata. Lácteos. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC). Disponível em: < https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5gmye02wyiv80z4s473pvif4cr.html >. Acesso em 5 de julho de 2021.

THAYER, Donald W. Extending shelf life of poultry and red meat by irradiation processing. Journal of Food Protection, v. 56, n. 10, p. 831-833, 1993.

VASCONCELOS, Margarida Angélica da Silva; MELO, Filho Artur Bibiano de. Conservação de alimentos. 2010.

VENTURINI, Katiani Silva; SARCINELLI, Maryelle Freire; SILVA, LC da. Características do leite. Boletim Técnico, Universidade Federal do Espírito Santo, Pró-Reitoria de Extensão, Programa Institucional de Extensão, PIE-UFES, v. 1007, n. 6, 2007.

WALDER, Julio Marcos Melges et al. Avaliação da qualidade da cebola irradiada na Argentina e armazenada no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 6, p. 565-569, 1997.

WALKER, S. J.; ARCHER, P.; BANKS, J. Growht. Growth of Listeria monocytogenes at refrigeration temperatures. Journal of Applied Bacteriology, v. 68, n. 2, p. 157-162, 1990.

WERTHEIM, John H. et al. Milk irradiation, irradiation preservation of milk and milk products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 5, n. 12, p. 944-950, 1957.

World Health Organization. Codex Alimentarius 42th Session of the Codex Alimentarius Commission, 2019. Disponível em: < http://www.fao.org/gsfaonline/foods/index.html >. Acesso em 13 de julho de 2021.

WILLIAMS, A. New technologies in food preservation and processing: part1. Nutrition and Food Science, v. 6, p. 16-19, nov./dez. 1993.

World Health Organization. Food irradiation: a technique for preserving and improving the safety of food. WHO. 1988. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/38544 >. Acesso em 20 de junho de 2021.

WU, Dianxing et al. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice. Radiation Physics and Chemistry, v. 65, n. 1, p. 79-86, 2002.

ZHU, M. J. et al. Influence of irradiation and storage on the quality of ready-to-eat turkey breast rolls. Poultry science, v. 83, n. 8, p. 1462-1466, 2004.



TECNOLOGIAS DE ALIMENTOS

SOBRE OS ORGANIZADORES

SOBRE OS ORGANIZADORES



GUSTAVO MOLINA

Engenheiro de Alimentos (UEM), mestre e Doutor em Ciência de Alimentos (UNICAMP), com estágio de Doutorado na Université Blaise Pascal (França), e Pós-Doutorado na Université Grenoble Alpes (França). Atualmente, é professor do curso de Engenharia de Alimentos e Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Alimentos da UFVJM, e Coordenador do Laboratório de Biotecnologia de Alimentos (ICT/UFVJM).



CARLOS HENRIQUE CARVALHO E SILVA

Bacharel em Engenharia Química pela UFVJM, com Iniciação Científica e pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Biotecnologia de Alimentos, sob orientação do Prof. Gustavo Molina. Atualmente, Especialista Corporativo de Qualidade na Ambev, movido por pesquisa, aprendizagem e troca de conhecimentos.



https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115

https://www.instagram.com/synapseeditora

https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/

31 98264-1586

editorasynapse@gmail.com

SYNAPSE
Editora

Compartilhando conhecimento