

Engenharias



1ª EDIÇÃO



ORGANIZADOR
RÔMULO MAZIERO

ENGENHARIAS: TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES

VOLUME 2



Compartilhando conhecimento

Engenharias



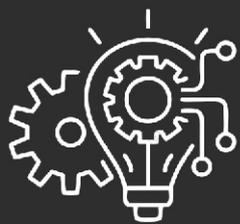
1ª EDIÇÃO



ORGANIZADOR
RÔMULO MAZIERO

ENGENHARIAS: TENDÊNCIAS E INOVAÇÕES

VOLUME 2



Compartilhando conhecimento

Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Organizador
Rômulo Maziero

Conselho Editorial

Dr. Lais Brito Cangussu
Dr. Rômulo Maziero
Msc. Jorge dos Santos Mariano
Dr. Jean Canestri
Msc. Daniela Aparecida de Faria
Dr. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca
Msc. Edgard Gonçalves da Costa
Msc. Gilmara Elke Dutra Dias

Projeto Gráfico e Diagramação

Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte

Maria Aparecida Fernandes

Revisão

Os Autores

ISBN: 978-65-88890-41-7

DOI: <http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7>

2024 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2024 Os autores

Copyright da Edição © 2024 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.



Compartilhando conhecimento

2024

M476r Maziero, Rômulo

Engenharias: Tendências e Inovações - Volume 2
Organizador: Rômulo Maziero
Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2024, 146 p.

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

ISBN: 978-65-88890-41-7
DOI: <http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7>

1. Engenharias, 2. Inovação e desenvolvimento, 3. Engenharia e sociedade
I. Engenharias: Tendências e Inovações CDD: 620 - 710
II. Organizador Rômulo Maziero CDU: 62 - 628

SYNAPSE EDITORA

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



Compartilhando conhecimento

2024

PREFÁCIO

« **A** inquietação desencadeia perguntas com nobres transformações”.

Maziero, R.

Olá, leitor!

É com grande satisfação que apresentamos a segunda edição da obra **Engenharias: tendências e inovações**. Esta obra é fruto de trabalhos em destaque, com temas e resultados relevantes na grande área Engenharias e áreas correlatas, contribuindo desta forma para o enriquecimento da pesquisa brasileira.

O uso de novas tecnologias e a obtenção de novos produtos, o reaproveitamento de materiais agroindustriais e a valorização de produtos locais e comerciais são alguns dos assuntos abordados na estruturação desta obra.

A equipe Synapse Editora deseja uma excelente leitura e que esta obra estimule o avanço de novas ideias e tecnologias produtivas.

Abraços!

Prof. Dr. Rômulo Maziero



Compartilhando conhecimento

2024

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	8
ENGENHARIA DE MATERIAIS: MOTIVAÇÕES PARA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS	
Washington Moreira Cavalcanti Laís Brito Cangussu	
DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_001	
CAPÍTULO 2	22
APLICAÇÃO DA POLPA DO MARACUJÁ (<i>PASSIFLORA EDULIS</i>) NA PASTA DE GESSO: AVALIAÇÃO DO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA MECÂNICA	
Eryck Allan Alves Fernandes Vinicius Alyson da Silva Lima Elisângela Pereira Da Silva	
DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_002	
CAPÍTULO 3	33
SPRAY COM INSUMO NANOBIOtecnológico NATURAL®	
Fabiola Ornellas de Araújo	
DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_003	
CAPÍTULO 4	44
PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO UTILIZANDO HIDROLISADOS ÁCIDOS DOS RESÍDUOS DE SABUGO DE MILHO, SISAL E MANDIOCA POR CO-FERMENTAÇÃO DE LEVEDURAS: UMA REVISÃO	
Mariane Daniella da Silva Crispin Humberto Garcia Cruz	
DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_004	
CAPÍTULO 5	71
PRODUÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS A BASE DE CELULOSE COMO PRINCIPAL ALTERNATIVA NA SUBSTITUIÇÃO DO PLÁSTICO: REVISÃO	
Maria Eduarda Sério Bianca Pazinato Carmen Torres Guedes Marina Melliny Guimarães de Freitas	
Jaqueline Ferreira Silva Jaqueline Gilmar Barboza Januário Mônica Regina da Silva Scapim Nathalia Gouveia Botan	
DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_005	



SUMÁRIO

CAPÍTULO 6 79

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO CAP 50/70 MODIFICADO COM ÓLEO DE COPAIBA PARA FINS DE APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Pedro Henrique da Silva
Ana Maria Gonçalves Duarte
Luana Alves dos Santos
Maria Eduarda Olinto Costa Ferreira
Thamires Dantas Guerra

DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_006

CAPÍTULO 7 98

ANÁLISE DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DAS ESTUFAS DA UFCG – CCTA

Vitória Ramalho Medeiros
Vinícius Lamark Lacerda Santos
José Ian Possidônio Ribeiro da Silva
Profª. Orientadora Savana Barbosa Villar Gonçalves
Prof. Orientador Rodrigo Mendes Patrício Chagas

DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_007

CAPÍTULO 8 116

AVALIAÇÃO FÍSICO QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E SENSORIAL DE QUEIJO MINAS PADRÃO COM VINHO TINTO

Laina Pires Rosa
Leandra Cristina Crema Cruz
Douglas Henrique Pereira

DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_008

CAPÍTULO 9 133

ESTUDO DE CASO: INOVAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE BEBIDAS GASEIFICADAS SABORIZADAS NATURALMENTE

Bianca Pazinato
Bianca Ceccherini
Vanessa Eiko Kawasaki
Carmen Torres Guedes
Grasiele Scaramal Madrona

DOI: http://doi.org/10.36599/editpa-978-65-88890-41-7_009



ENGENHARIA DE MATERIAIS: MOTIVAÇÕES PARA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Washington Moreira Cavalcanti
IF Sul de Minas - Câmpus Passos
washington.cavalcanti@gmail.com

Laís Brito Cangussu
IF do Mato Grosso do Sul - Câmpus Coxim
lai.sbc1@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de novos materiais e tecnologias baseados em fontes renováveis são medidas importantes para aumento da sustentabilidade industrial. Neste contexto, o uso e aplicação de fibras naturais favorecem o desenvolvimento socioeconômico para países produtores destes materiais, como o Brasil. No presente trabalho foi abordado a motivação para a pesquisa o desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais, sejam laminados de resina epoxídica ou injetados com polímeros termoplásticos ou mesmo termo conformados. Estes materiais apresentam características como a capacidade de absorver contaminantes em certos fluidos, baixa abrasão e isolamento térmico e acústico. As pesquisas e publicações sobre esses materiais visam demonstrar melhoras significativas a essas características. Assim,

de forma a acompanhar o mercado de compósitos reforçados com fibras naturais, a identificação de utilização destes materiais pode ser observada em diversas áreas, e vale destacar o uso nas indústrias: automotiva, construção de interiores, material esportivo e de escritório, entre outras. A pesquisa e o desenvolvimento desses materiais podem seguir os desafios que os compostos de alto desempenho têm atualmente. Essas mudanças podem incluir a fabricação de compostos reforçados com fibras naturais por manufatura aditiva ou conformação térmica.

Palavras-chave:

Engenharia de Materiais; Fibras naturais; Polímeros; Compósitos.

ABSTRACT

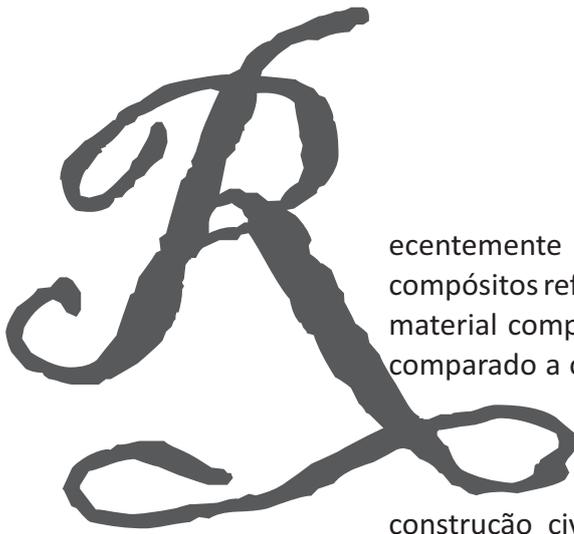
The development of new materials and technologies based on renewable sources are important measures to increase industrial sustainability. In this context, the use and application of natural fibers favor socioeconomic development for countries that produce these materials, such as Brazil. In the present work, the motivation for research the development of composite materials reinforced with natural fibers, whether laminated with epoxy resin or injected with thermoplastic polymers or even thermoformed. These materials have characteristics such as the ability to absorb contaminants in certain fluids, low abrasion and thermal and acoustic insulation. Research and publications on these materials aim to demonstrate significant improvements to these characteristics. Thus, in order

to follow the market for composites reinforced with natural fibers, the identification of the use of these materials can be observed in several areas, and it is worth highlighting the use in industries: automotive, interior construction, sports and office equipment, among others. . Research and development of these materials can follow the challenges that high-performance composites currently face. These changes could include manufacturing composites reinforced with natural fibers through additive manufacturing or thermal forming.

Keywords:

Materials Engineering; Natural fibers; Polymers; Composites.

INTRODUÇÃO



Recentemente houve significativo aumento da pesquisa e utilização de compósitos reforçados com diversas fibras naturais. O interesse nesse tipo de material compósito está baseado em algumas das suas vantagens quando comparado a outros, como os compósitos com fibras sintéticas, incluindo a redução no impacto ambiental, além do baixo custo, reciclabilidade e aplicações em diversos ramos da indústria, como no setor automotivo, aeronáutica, moveleira e construção civil. Muitos esforços têm sido realizados para aumentar as propriedades mecânicas e térmicas de compósitos termoplásticos reforçados com pó de madeira e outras fibras naturais para estender ainda mais o campo de aplicação desse tipo de material compósito.

No mundo, anualmente, são geradas grandes quantidades de resíduos naturais e de resíduos provenientes das indústrias de transformação e que têm sido utilizadas como reforço em matrizes poliméricas (NAJAFI, S.K., 2013; SHAH, 2014; TEUBER, L. et al., 2016). Em alguns casos, a própria matriz utiliza polímeros reciclados oriundos da coleta seletiva urbana e industrial (NAJAFI, S.K., 2013; e TEUBER, L. et al, 2016). O interesse, principalmente da indústria automotiva, está provavelmente associado a aspectos relacionados com a utilização de recursos naturais renováveis em substituição gradual a extração e utilização de recursos não renováveis, como o petróleo (VENTURA, 2009 e SAPUAN, 2014). Os compósitos lignocelulósicos desenvolvidos são materiais mais ambientalmente amigáveis, já que utilizam fases biodegradáveis ou fases que demandem menor consumo de energia para sua produção (TEUBER, L., et al 2016, e GARCÍA-GARCÍA, D., 2015).

Os materiais compósitos são materiais feitos combinando dois ou mais componentes com propriedades diferentes para criar um novo material com características únicas e superiores às de seus constituintes individuais. Esses materiais são compostos por uma matriz, que é o material principal, e um reforço disperso dentro dela. A matriz pode ser polimérica, metálica, cerâmica ou de outro tipo, enquanto o reforço pode ser composto por fibras, partículas ou outras formas. A combinação desses componentes permite que os materiais compósitos tenham uma variedade de propriedades, incluindo alta resistência, leveza, resistência à corrosão, resistência ao impacto, entre outras (TEUBER, L. et al., 2016).

A pesquisa e desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais tem se motivado por várias razões como a sustentabilidade ambiental em que as fibras naturais são

renováveis e biodegradáveis, o que as torna uma alternativa mais sustentável em comparação com os materiais sintéticos. A utilização dessas fibras reduz a dependência de recursos não renováveis e minimiza o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto. Os compósitos reforçados com fibras naturais são frequentemente mais leves do que os materiais tradicionais, como metais. Isso os torna ideais para aplicações onde a redução de peso é crítica, como na indústria automotiva, aeroespacial e de transporte em geral. A redução de peso pode resultar em maior eficiência energética e menor consumo de combustível.

As propriedades mecânicas estão atreladas a aplicação e do tipo de fibra natural utilizada. Os compósitos podem exibir propriedades mecânicas comparáveis ou até mesmo superiores às dos materiais convencionais. Isso inclui resistência à tração, rigidez e tenacidade, tornando-os adequados para uma variedade de aplicações estruturais. Isso associado aos custos, que em muitos casos são mais baratas do que as fibras sintéticas. O que pode resultar em custos de produção mais baixos para os compósitos reforçados com fibras naturais, tornando-os economicamente atraentes para certas aplicações (TEUBER, L., et al, 2016).

Propriedades identificadas em fibras naturais como a juta, sisal, linho e algodão mostram uma baixa densidade, boa resistência mecânica, baixa abrasão às ferramentas de corte ou furação, baixo custo e, comparativamente às fibras de vidro, boa rigidez específica (quociente entre o módulo de elasticidade das fibras e a densidade da respectiva fibra), tal como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Principais propriedades mecânicas das fibras naturais e das fibras sintéticas mais utilizadas.

Fibras		Massa específica (kg/m ³)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Módulo de elasticidade específico (GPa)
Naturais	Algodão	1500-1600	7,0-8,0	287-597	5,5 ± 12,6	3,4 ± 8,4
	Juta	1300	1,5-1,8	393-773	26,5	20,4
	Linho	1500	2,7-3,2	345-1035	27,6	18,4
	Cânhamo	1400	1,6	690	70,0	50,0
	Rami	1500	3,6-3,8	400-938	61,4 ± 128,0	41,0 ± 85,3
	Sisal	1500	2,0-2,5	511-635	9,4 ± 22,0	6,3 ± 14,7
	Coco	1200	30,0	175	4,0 ± 6,0	3,3 ± 5,0
	Casca de café	445-620	-	0,09	8,04	6,8
Sintéticas	Vidro E	2500	2,5	2000-3500	70,0	28,0
	Vidro S	2500	2,8	4750	86,0	31,0
	Aramida	1400	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0	45,0-47,9
	Carbono	1400	1,4-1,8	4000	230,0-240,0	164,3-171,4

Fonte: Adaptado de JOHN, M. J., THOMAS, S. (2008)

As fibras naturais podem ser obtidas a partir do caule, das folhas, da raiz, das frutas e das sementes das plantas, ou diretamente da forma natural, como no algodão (JOHN; THOMAS, 2008). O Brasil está em uma posição única entre os países sulamericanos para a produção de fibras naturais, tendo uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km², dos quais cerca de 5-6% são terras aráveis, 22% são

pastagens permanentes e 58% florestas e bosques. O país também é privilegiado geograficamente, possuindo excelentes condições climáticas e solo fértil para o cultivo de uma variedade grande de espécies de plantas (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007).

Outro fator de diversificação do uso destas fontes de matéria-prima é a limitação e dependência de recursos escassos que podem representar um risco para a segurança da cadeia de suprimentos. A utilização de fibras naturais permite diversificar as fontes de matéria-prima, reduzindo assim a vulnerabilidade a flutuações de preços e interrupções no fornecimento (SCOPEL, 2012).

Os painéis compósitos surgiram na Alemanha, no início da década de 40, a fim de viabilizar o uso de resíduos de madeira, em função da dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, por causa do isolamento da Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial (IWAKIRI, 2005).

Atualmente, os painéis compósitos são largamente utilizados na construção civil e setor moveleiro. A princípio, esses painéis podem ser fabricados com qualquer material lignocelulósico que lhes confirmam alta resistência mecânica e massa específica pré-estabelecida, já que a estrutura dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira (ROWELL et al., 2000).

Apesar de todo o esforço que tem sido externado para a utilização de fibras naturais, estas possuem algumas limitações inerentes à sua natureza. As principais desvantagens da utilização de fibras naturais em materiais compósitos implicam em sua fraca adesão na interface com polímeros termoplásticos e termofixos, podem emitir odores, são materiais higroscópicos e têm baixa resistência à temperatura. Porém, pesquisas permitem, cada vez mais, o aprofundado sobre todas as características das fibras naturais, o que resulta no desenvolvimento de tecnologias para tratamentos que permitem mitigar ou eliminar as principais limitações do uso das fibras naturais em materiais compósitos.

O uso e aplicação de materiais naturais em compósitos como fibras de bambu, sisal, juta, madeira, e outros deixa os compósitos renováveis e biodegradáveis. Isso os torna uma escolha mais sustentável em comparação com materiais sintéticos, reduzindo a pegada ambiental do produto final (ROWELL et al., 2000).

O vasto campo de aplicação, os vários tipos de fibras existentes na natureza e o grande crescimento na utilização dos materiais compósitos reforçados com fibras naturais justificam a investigação e estudo realizado no presente artigo.

MÉTODOS

Embora a revisão bibliográfica seja comum a todas as pesquisas científicas, é importante que esta seja bem executada e confiável, realizada de forma sistemática e de modo compreensivo (WEBSTER; WATSON, 2002). Neste estudo foi utilizada a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), que segundo

Bereton et al. (2005) permite ao pesquisador uma avaliação rigorosa e confiável das pesquisas realizadas dentro de um tema específico. Este método de levantamento é um instrumento eficaz para mapear trabalhos publicados para que o pesquisador seja capaz de elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre o assunto (BIOLCHINI et al., 2007).

Para este estudo foi utilizado o levantamento teórico baseado no método RBS, em registros bibliográficos de documentos eletrônicos contidos na base de dados *Derwent Innovation Index*, disponível no Portal de Periódicos Capes (2021). Os dados foram recuperados realizando-se a busca nos campos de títulos e resumos. O período da busca compreendeu 2010 até 2020 e resultou em documentos publicados sobre a elaboração de materiais compósitos. Os dados foram coletados e tratados estatisticamente de forma semiestruturada com auxílio de planilha eletrônica Excel.

A identificação e análise dos documentos pesquisados foram concentradas no período citado acima pelo fato de a maioria das pesquisas analisadas pertencerem a esse intervalo e a maioria das pesquisas estarem ainda em período de sigilo. Foram obtidos a evolução temporal do uso mundial em fibras naturais aplicadas em materiais compósitos e suas principais aplicações.

Este estudo foi efetivado a partir de vasto material publicado, constituído principalmente de livros, artigos científicos e publicações periódicas, jornais, dissertações e teses, sobre os temas: Inovação, P&D, Materiais Compósitos e Resíduos Naturais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros trabalhos envolvendo materiais compósitos lignocelulósicos, no Brasil, foram desenvolvidos no IMA (Instituto de Macromoléculas) da UFRJ, na década de 1990, sendo formada a primeira linha de pesquisa regular sobre o assunto. O material desenvolvido apresentava potencial de ser aplicado na indústria de construção civil, em divisórias, pisos, treliças, e também na agropecuária, na construção de mourões de cerca, estábulos e estrados diversos (PAULA; COSTA, D. L.; 2008).

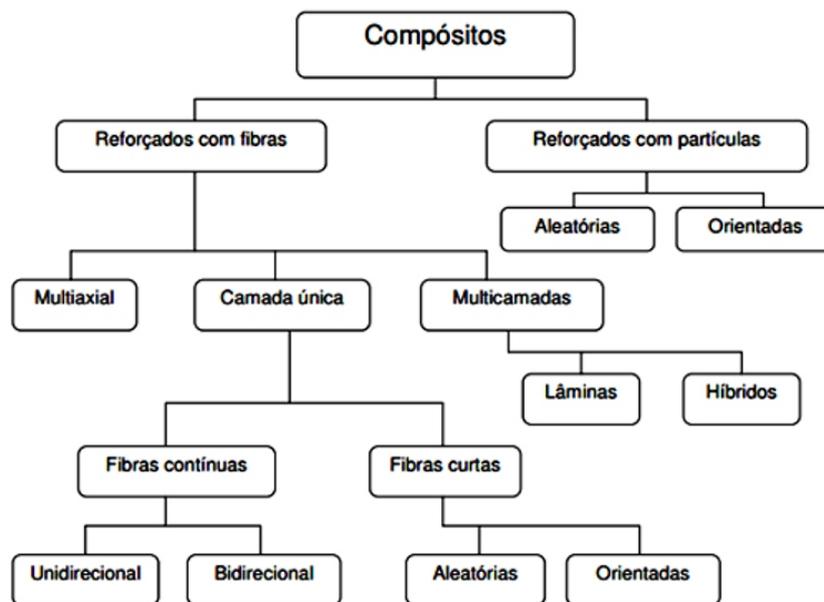
Habitualmente resíduos de fibras naturais ou madeiras na forma de serragem são adicionados ao termoplástico reciclável com a intenção de melhorar suas propriedades físico-químicas, permitindo assim uma madeira plástica de qualidade para as mais variadas aplicações residenciais e industriais (KLYOSO, 2007).

A aplicação de materiais compósitos lignocelulósicos depende da melhoria do desempenho físico e mecânico. Outra questão é a absorção de água na parte da madeira, um problema que reduz parcialmente a rigidez devido as intempéries ambientais. Os materiais compósitos lignocelulósicos são majoritariamente produzidos em todo o mundo na forma de placas ocas ou sólidas (conhecidos como madeira Plástica) para em geral, substituir principalmente os decks e pisos de madeira *in natura*, pois a madeira existe em maior abundância e é, em geral, proveniente de áreas tropicais. Todavia, o uso de compósitos vai depender do tipo de material usado em sua fabricação (CAVALCANTI;

FERNANDES, M. A., 2023). Ainda, segundo os autores, a constante preocupação com o meio ambiente e o melhor uso dos recursos naturais faz com que se pense cada vez mais em soluções ecologicamente corretas para diversos materiais. Neste contexto, cresce o estudo para o desenvolvimento e a aplicabilidade dos materiais compósitos produzidos por meio de resíduos plásticos descartados e materiais lignocelulósicos de diversas fontes.

A classificação dos tipos e formas de materiais que podem constituir um compósito, refere-se às propriedades dos materiais compósitos que apresentam o melhor balanceamento entre as propriedades dos elementos que o constituem e que resultará em um material com propriedades superiores ao da sua fase matriz. Na Figura 1 contém a classificação dos materiais compósitos.

Figura 1. Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: ASM, 2001.

O que define as propriedades mecânicas dos compósitos é sua estrutura nas suas fases constituintes, as frações mássicas dos componentes, a geometria da fase dispersa como forma das partículas, o tipo, tamanho, a distribuição e orientação. Outro fator importante é o percentual de mistura dos componentes, assim como do nível de adesão entre as fases (KIELING et al., 2019).

Na indústria, os painéis compósitos apresentam usos diversos, destaca-se a produção de móveis modulares, tampos de mesas, divisórias e, de forma secundária, aplicação na construção civil (BERNARDI, 2006). Segundo Góes (2011), painéis de madeira aglomerada podem ser utilizados em pisos e estruturas leves, atuando como elemento estrutural de pequeno a médio porte em aplicações

residenciais. Segundo a IBÁ (2017), cerca de 95% dos painéis aglomerados produzidos no Brasil são consumidos pela indústria moveleira, 4% é revendido e os outros 1% são consumidos por outros setores.

No Quadro 1 é apresentado alguns exemplos de produtos industrializados com materiais compósitos poliméricos a base de materiais naturais (resíduos lignocelulósicos).

Quadro 1. Estudos elaborados com a utilização e aplicação com materiais compósitos reforçados com fibras naturais.

Polimero	Material Lignocelulósico	Características	Referência
Polímeros Termoplásticos			
PP (virgem/v-reciclado/r)	<i>Pine flour</i> + anidrido maleico	O PP reciclado tem estabilidade dimensional comparável ao PP virgem, as propriedades de tração e flexão são equivalentes, o anidrido	BHASKAR; HAQ; YADAV, 2011.
PP	Pinheiro - anidrido maleico/am - Nanopartículas de Argila	Baixa densidade, baixo custo, renovabilidade e reciclabilidade, propriedades mecânicas favoráveis, adição de 5% nanopartículas de argila melhoram propriedades mecânicas.	YADAV; YUSOH, 2015.
PP	<i>Pinus sylvestris</i> , zeolite, anidrido maleico/am	Possível fabricar formas mais complexas do que com produtos de madeira maciça, com um rendimento de matéria-prima próximo de 100%, WPCs são uma alternativa competitiva às madeiras de lei tropicais e consideram-se que requerem menos manutenção que os produtos de madeira convencional	KAYMAKCI et al., 2017.
PP	<i>Pinus taeda</i> e <i>elliotti</i>	A inclusão de serragem proporcionou a obtenção de compósitos com boas características mecânicas que podem ser aplicados na fabricação de diferentes materiais, empregados especificamente em ambientes externos	BATTISTELLE et al, 2014.
PP (virgem/v - reciclado/r)	Casca arroz, Corante (painéis externos prédio)	Uso de WPC na construção civil é necessário devido ao Sistema de Industrializados (IBS) na Malásia, melhor controle de recursos materiais e custos, sustentabilidade. WPC material verde devido ao uso de materiais reciclados em sua composição	ZAINI et al., 2016.
PP (virgem/v - reciclado/r)	<i>Pine flour</i> . 0.2 a 0.5 mm - anidrido maleico/am	Baixo custo de manutenção, fabricação com resíduos da indústria moveleira ou da madeira e plásticos reciclados descartados no meio ambiente, redução de impacto ambiental, alta estabilidade dimensional quando injetado/extrudado.	BHASKAR et al., 2012.
PP	Pinheiro, PRIEX agente acoplamento	WPC não sofre corrosão, resiste bem a podridão, decomposição e a salinidade marinha	BYK, 2018.

Continua

Continuação

Polímero	Material Lignocelulósico	Características	Referência
Polímeros Termoplásticos			
PP	Lã mineral reciclada, anidrido maleico, agente lubrificante, agente silano	Vantagens econômicas utilizando materiais reciclados, WPCs materiais ecologicamente corretos comparados aos compósitos poliméricos tradicionais, redução da dependência de fontes não renováveis de energia e materiais, menores emissões de poluentes, menores emissões de gases do efeito estufa e recuperação de energia, biodegradabilidade de alguns componentes.	VÄNTSI, 2015.
PET	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	Alta resistência e rigidez, durabilidade, baixo custo de manutenção, preços acessíveis, ecologicamente correta	OLADEJO et al. 2017.
PEAD	<i>Pinus pinaster</i> + anidrido maleico	Significativa relação custo-benefício e propriedades mecânicas	MBAREK et al., 2010.
PEAD	Pinheiro, 0.25 a 0.43 mm, tratamento deslignificação	WPCs têm vantagens ambientais e econômicas, baixa densidade, baixa abrasão e baixo custo de material em comparação com as fibras de vidro convencionais e outros materiais inorgânicos.	CHEN et al., 2014.
PEBD, PEAD, PET	Sumaúma	WPC conformado em qualquer forma, tamanho, desenho ou qualidade, dependendo do uso final pretendido, é renovável/ecológico, o avanço tecnológico leva a custos reduzidos, melhor desempenho, novos produtos, reciclagem de material e maior sensibilidade ambiental	OLUYEGE et al., 2017.
PEAD	<i>Paraserianthes falcataria</i>	Produtos de WPC apresentam uma vida longa, sequestra carbono atmosférico gerando impacto ambiental positivo, madeira é usada misturada a plásticos de forma a reduzir o preço em comparação com um produto plástico sólido.	ARNANDHA et al., 2017.
PEAD	Fibras de <i>Pinus taiwanensis</i> , <i>Trema orientalis</i> , <i>Phyllostachys makinoi</i> , <i>Cunninghamia lanceolata</i>	Redução da degradação externa pelo tempo e biológica em relação à madeira, melhorias nas propriedades de flexão e resistência, menor custo, menor desgaste de equipamentos de produção e menor manutenção, produto ambientalmente amigável.	HUNG et al., 2017.
Polímeros Termofixos			
Resinas Epóxi	Fibra de Curauã.	Alta resistência e rigidez, durabilidade, baixo custo de manutenção, preços acessíveis, ecologicamente correta	SILVA, 2020.
Resinas termorígidas	Fibras de Bambú.	Materiais que podem ser utilizados como substituto na produção de vários produtos e que já vem sendo empregado na construção civil	MOURA, 2019.

Continua

Continuação

Polímero	Material Lignocelulósico	Características	Referência
Polímeros Termofixos			
Resinas epóxis de óleo epoxidado.	Casca de Café	Óleos de cozinha residuais epoxidados e casca de café na fabricação de compósitos lignocelulósicos	CAVALCANTI et al, 2022.
Resinas epóxis de óleo epoxidado.	Madeira de construção civil - RCC.	Alta resistência e rigidez, durabilidade, baixo custo de manutenção, preços acessíveis, ecologicamente correta	CAVALCANTI et al, 2020.
Resinas termorígidas	Fibras de eucalipto alcalinizadas	Uso de negro de fumo e fibras de eucalipto alcalinizadas em matriz de polipropileno reciclado	MAZIERO et al, 2020.
Resinas termorígidas	Fibras de Sisal.	Materiais que podem ser utilizados como substituto na produção de vários produtos e que já vem sendo empregado na construção civil	DE CASTRO et al, 2020.

Fonte: Dos autores.

Berger e Stark (1997) comentam que as variáveis mais importantes quando a madeira é utilizada no desenvolvimento de compósitos poliméricos são a umidade presente na madeira, a distribuição do tamanho de partículas e as espécies utilizadas. Stark (1997) também avaliou o efeito da adição de diferentes espécies de madeira nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno (PP).

De acordo com o autor, as espécies de madeira têm influência direta na propriedade mecânica dos compósitos. Estudos apresentaram diferenças significativas nas propriedades mecânicas de compósitos produzidos com diferentes espécies de madeira (SAPUTRA; SIMONSEN; LI, K.; 2004).

As pesquisas com compósitos reforçados com materiais naturais devem crescer ainda mais, uma vez que a demanda por materiais sustentáveis derivados de fontes renováveis continua a crescer. No entanto, deve-se melhorar a resistência à umidade e a resistência ao fogo dos compósitos reforçados por fibras naturais já que estes são muito utilizados em aplicações externas, como peças automotivas, decks e marinas, equipamentos esportivos, móveis de jardim, além de diversas aplicações na construção civil.

MOTIVAÇÕES PARA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Os materiais compósitos poliméricos são materiais que sua estrutura resultante da associação de polímeros termoplásticos ou termofixos combinados a fibras ou partículas de reforço, com destaque para as fibras sintéticas ou fibras naturais (CAVALCANTI & FERNANDES, 2023).

Segundo a bibliografia pesquisada, tem-se percebido o rápido desenvolvimento tecnológico atrelado a necessidade de aliar alto desempenho à redução de peso, atualmente o plástico reforçado com fibra sintéticas é o mais utilizado. Muitos projetos já contemplam a utilização deste tipo de material na fabricação de seus componentes.

Dentre as vantagens destes materiais, destacam-se: altas propriedades mecânicas (tração, flexão e impacto), leveza, flexibilidade de projeto, alta rigidez dielétrica (não conduz corrente elétrica), resistência à corrosão, integração de peças (moldagem de peças complexas sem emendas ou fixadores), baixo custo de acabamento, moldes simples e baratos, baixo custo de manutenção. Os materiais compósitos substituem com vantagem em muitas aplicações o aço, a madeira e o alumínio.

As motivações para o uso de materiais compósitos reforçados com fibras naturais estão justificadas com vários argumentos entre os quais pode se enfatizar: materiais ecológicos, custo e peso relativamente baixos, benefícios sociais e boas propriedades mecânicas, além de outros benefícios. Dentre as várias motivações para a pesquisa e desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais, algumas são descritas e apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Motivações para a pesquisa e desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais.

Motivação	Resultados	Implicações	Aplicações
Sustentabilidade Ambiental	Oferecem uma alternativa mais sustentável aos materiais convencionais, pois as fibras naturais são renováveis e biodegradáveis. Isso reduz a dependência de recursos não renováveis e minimiza o impacto ambiental.	As fibras naturais podem exibir maior variabilidade nas propriedades em comparação com as fibras sintéticas.	Indústria Automotiva; Construção Civil.
Redução de Peso	As fibras naturais geralmente têm uma densidade mais baixa em comparação com materiais sintéticos, o que pode resultar em componentes mais leves. Isso é particularmente importante em aplicações onde a redução de peso é crítica, como na indústria automotiva e aeroespacial, pois pode levar a uma melhor eficiência energética e desempenho.	Alguns tipos de fibras podem ter dificuldade em se ligar ou interagir eficazmente com certas matrizes, o que pode afetar adversamente as propriedades finais do compósito.	Indústria de Embalagens; Indústria Aeroespacial.
Propriedades Mecânicas	Os compósitos reforçados com fibras naturais podem exibir propriedades mecânicas notáveis, como resistência à tração, rigidez e tenacidade. Isso os torna adequados para uma ampla gama de aplicações, desde componentes estruturais até produtos de consumo.	Em algumas aplicações críticas onde são necessárias propriedades mecânicas excepcionais, como alta resistência, rigidez ou resistência à temperatura, os compósitos reforçados com fibras naturais podem não ser a melhor escolha em comparação com os materiais tradicionais ou compósitos reforçados com fibras sintéticas.	Indústria Naval; Indústria Aeroespacial.
Custos	As fibras naturais são mais baratas em comparação com as fibras sintéticas, o que pode reduzir significativamente o custo de produção dos compósitos. Isso é especialmente benéfico em aplicações de grande escala, onde a redução de custos é fundamental.	O processamento de compósitos reforçados com fibras naturais pode apresentar desafios técnicos específicos. Por exemplo, algumas fibras naturais podem exigir tratamentos especiais para melhorar a adesão com a matriz polimérica.	Indústria Automotiva; Construção Civil.

Continua

Continuação

Motivação	Resultados	Implicações	Aplicações
Diversificação de Recursos	O uso de fibras naturais contribui para a diversificação da base de recursos utilizados na indústria, reduzindo a dependência de matérias primas específicas e aumentando a resiliência do fornecimento.	Nem todas as fibras naturais são naturalmente compatíveis com todas as matrizes poliméricas, o que pode afetar adversamente as características finais do compósito.	Indústria de Energia Renovável; Design de Interiores.
Apelo do Mercado	Com o aumento do interesse do consumidor em produtos mais ecológicos e sustentáveis, há uma crescente demanda por materiais que utilizem fibras naturais. Desenvolver compósitos com esses materiais pode atender a essa demanda e proporcionar uma vantagem competitiva às empresas que os adotarem.	Alguns tipos de fibras naturais, como as provenientes de alimentos ou culturas agrícolas, podem entrar em competição com a produção de alimentos ou outros usos importantes.	Setor de Mobiliário e Design de Interiores.

Fonte: Dos autores.

A pesquisa e o desenvolvimento de materiais compósitos reforçados com fibras naturais são impulsionados por uma combinação de preocupações ambientais, benefícios de desempenho, considerações econômicas e demanda do mercado por soluções mais sustentáveis.

Os materiais compósitos reforçados com fibras naturais têm uma ampla gama de aplicações devido às suas propriedades únicas, essa diversidade de aplicações tem fomentado a crescente demanda por soluções mais sustentáveis em diversas indústrias.

CONCLUSÃO

Neste levantamento constatou-se que os compósitos feitos a partir de materiais naturais e/ou fontes renováveis estão sendo aplicados em diversas áreas, e vale destacar o uso nas indústrias: automotiva, construção de interiores, material esportivo e de escritório, entre outras. Dessa forma, observou-se que os referidos compósitos podem substituir materiais comumente empregados na indústria atendendo aos requisitos funcionais e estéticos demandados na confecção desses produtos.

Os documentos analisados descrevem que as propriedades mecânicas dos materiais apresentam relação linear crescente com o aumento do teor de polímeros, e decrescente com a porcentagem de incorporação destes materiais. Alguns materiais naturais possuem propriedades mecânicas desejáveis, como resistência à tração e rigidez, que podem ser aproveitadas para reforçar as propriedades do compósito final. Além disso, como destacado neste levantamento bibliográfico, os materiais naturais também podem apresentar algumas limitações, como variação na qualidade devido a fatores ambientais, sensibilidade à umidade e decomposição biológica. Portanto, a escolha de materiais naturais em compósitos deve ser cuidadosamente considerada em relação aos requisitos específicos de cada aplicação.

Os compósitos derivados de materiais de recursos renováveis são interessantes do ponto de vista ecológico. No entanto, as características que os tornam menos agressivos ao meio ambiente podem restringir suas aplicações por terem resistência mecânica limitada e sensibilidade à umidade. O emprego desses compósitos precisa estar alinhado com o tipo de aplicação e suas características. A comunidade acadêmica tem atuado para contornar esses problemas, e assim ampliar as oportunidades de aplicações dos referidos compósitos.

Os compósitos provenientes do uso de resíduos de materiais naturais como reforços a uma matriz polimérica são uma alternativa relevante de novos produtos, resultante da combinação destes materiais, ocasionando assim, uma melhor destinação econômica e ecologicamente mais adequada a diversos tipos de resíduos. Dessa forma, esses materiais são uma alternativa para o design de produtos que visam o cuidado com o meio ambiente. A substituição de materiais derivados do petróleo por materiais provenientes de fontes renováveis é o desafio atual da indústria contemporânea.

REFERÊNCIAS

- ASM. Metals Hand Book. Vol. 21, 2001 – Composites ASM International. < <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3878-07>> Acesso em: 12 Outubro, 2022.
- BERETON et al. Lessons from Applying the Sistematic Literature Review Process within the Software Engineering Domain. *The Journal of System and Software*, v. 80, p.571-583, 2007.
- BERGER, M.J.; STARK, N.M. Investigations of species effects in an injection-molding-grade, wood-filled polypropylene. *Fourth International Conference on Wood/fiber-Plastic Composites*. Madison, 1997.
- BERNARDI, R. Reconstituição de chapas de aglomerado. Bento Gonçalves: Centro Tecnológico do Mobiliário. Dossiê Técnico. 2006.
- BHASKAR, J.; HAQ, S.; YADAV, S. B. Evaluation and testing of mechanical properties of wood plastic composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 25(4) 391–401, 2011.
- BIOLCHINI, J.C.A., et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, v.21, n.2, p.133-151, 2007.
- CAVALCANTI, W. M., & FERNANDES, M. A. Produção de materiais compósitos a base de resíduos lignocelulósicos: inovações recentes, técnicas e potenciais aplicações. *Acta Mechanica et Mobilitatem*, v. 7, n. 1, p. 11-24, 2023.
- DE CASTRO, B. D. et al. Recycled Green PE Composites Reinforced with Woven and Randomly Arranged Sisal Fibres Processed by Hot Compression Moulding. *Acta Technologica Agriculturae*, v. 23, n. 2, p. 81–86, 2020.
- COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES. Portal de Periódicos. Disponível em: <<http://www2.periodicos.capes.gov.br/portugues/index.jsp?urlorigem=true>>. Acesso em: fevereiro. 2021.
- GARCÍA-GARCÍA, D.; CARBONELI, A.; SAMPER, M.D.; GARCÍA-SANOQUERA, D.; BALART, R. Green composites based on polypropylene matrix and hydrophobized spend coffee ground (SCG) powder. *Composite Part B78*: 256-265, 2015.
- GÓES, J. N. L. de. Materiais derivados de madeira: eplicação estrutural. Campo Mourão: UFTPR, 2011. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório de 2017. Disponível em: <[http:// www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf)>. Acesso em: 12 junho 2022.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA. Relatório de 2017. Disponível em: <[http:// www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf)>. Acesso em: 12 de agosto 2021.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: UFPR, 2005. 121p.

JOHN, M. J., THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers, v.71, n. 3, p.343–364, fev. 2008.

KIELING, A.; PEREIRA, S.; DOS SANTOS, Maria Cristina. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais. Scientia Amazonia, v. 8, n. 1, p. B1-B14, 2019.

KLYOSOV, A. A. Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons, Inc., 2007.

MAZIERO, Rômulo; RUBIO, Juan Carlos Campos. Uso de negro de fumo e fibras de eucalipto alcalinizadas em matriz de polipropileno reciclado. In: XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental . 2020.

NAJAFI, S.K. Use of recycled plastics in wood plastic composites-A review. Waste Management33: 1898-1905, 2013.

PAULA, R. M.; COSTA, D. L. Madeira plástica: aliando tecnologia e sustentabilidade. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos, 2008.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C. (Eds.). Natural polymers and agrofibers based composites: section II, agrofibers composites. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. p.115-134.

SAPUAN, F.M.A-O. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. Journal of Cleaner Production66: 347-354, 2014.

SAPUTRA, H.; SIMONSEN, J.; LI, K. Effect of extractives on the flexural properties of wood/plastic composites. Composite Interfaces11: 515-524, 2004.

SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARÃES, J.L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: source, production, morphology, properties and applications. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 38, n. 7, p. 1694-1709, jul. 2007.

SCOPEL, F. Fabricação e uso de compósitos poliméricos contendo fibras naturais com ênfase no polipropileno/sisal a partir da análise de documentos de patente. 2012. 192f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

STARK, N.M. Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites. Intertech Conferences. Portland, 1997.

SHAH, D. U. Natural fibre composites: comprehensive Ashby-type materials selection charts. Materials and Design62: 21-31, 2014.

TEUBER, L.; OSBURG, V-S.; TOPOROWSKI, W.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. Journal of Cleaner Production110: 9-15, 2016.

VENTURA, A.M.F.M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. Ciência & Tecnologia dos Materiais21: 10-19, 2009.

APLICAÇÃO DA POLPA DO MARACUJÁ (*PASSIFLORA EDULIS*) NA PASTA DE GESSO: AVALIAÇÃO DO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA MECÂNICA

Eryck Allan Alves Fernandes
eryckallan21@gmail.com

Vinicius Alyson da Silva Lima
viniciusalison13@gmail.com

Elisângela Pereira Da Silva
elisangellapereira@yahoo.com.br

RESUMO

O gesso é um material de construção bastante utilizado como revestimento de paredes e tetos; além de ser utilizado como aglomerante em argamassa. Este material tem como vantagem bom isolamento térmico e resistência ao fogo sendo sua desvantagem o tempo de pega. Aditivos a base de glicose são utilizados na construção civil como retardador do tempo de pega; neste sentido esse trabalho teve como objetivo estudar a adição da polpa de maracujá como retardador do tempo de pega na pasta de gesso no estado fresco através da NBR 12128/2019 e sua resistência a tração na flexão

e compressão no estado endurecido de acordo com a NBR 13279/2005 aos 3, 7 e 28 dias. Para determinação dos parâmetros estudados foi utilizado o fator $a/g = 0,5$ e como aditivo foram diluídos 10g e 30g da polpa de maracujá em 1000g de água. Foi observado que o aumento da concentração da polpa de maracujá aumenta o tempo de pega da pasta de gesso e não apresentou significância na resistência mecânica de tração na flexão e resistência à compressão.

Palavras-chave:

Gesso; Tempo de Pega; Resistência Mecânica.

ABSTRACT

Plaster is a construction material widely used as a covering for walls and ceilings; in addition to being used as a binder in mortar. This material has the advantage of good thermal insulation and fire resistance, with its disadvantage being the setting time. Glucose-based additives are used in construction to delay setting time; In this sense, this work aimed to study the addition of passion fruit pulp as a setting time delayer in gypsum paste in the fresh state according to NBR 12128/2019 and its tensile strength in flexion and compression in the hardened state according to NBR. 13279/2005 at 3, 7 and 28

days. To determine the studied parameters, the factor $a/g = 0.5$ was used and as an additive, 10g and 30g of passion fruit pulp were diluted in 1000g of water. It was observed that increasing the concentration of passion fruit pulp increases the setting time of the gypsum paste and was not significant in the mechanical tensile strength in flexion and compressive strength.

Keywords:

Plaster; Catch Time; Mechanical resistance

INTRODUÇÃO



gesso é um dos materiais de construção mais antigos utilizados pela humanidade (ADRIEN, 2016). Com o desenvolvimento industrial, novas tecnologias foram agregadas a produção do gesso, transformando-o num material com maior qualidade e desempenho adequado a novas aplicações (CINCOTTO, AGOPYAN, FLORINDO, 1988).

O gesso é um material obtido pela calcinação (desidratação) do material gipsita, sendo muito empregado na construção civil na produção de componentes, tais como blocos e placas e como revestimento interno de paredes e tetos (LIMA 2013; CAMARINI e PINHEIRO 2020). A gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é calcinada, obtendo-se como principal constituinte o hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) que em contato com a água se hidrata, formando novamente a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sendo responsável pelo endurecimento e pela resistência mecânica dos produtos obtidos com pasta de gesso (BARDELLA, 2011). O gesso possui propriedades específicas que podem ser favoráveis e desfavoráveis à construção civil como: elevada plasticidade da pasta, pega e endurecimento rápido, não apresenta retração na secagem, tendo estabilidade volumétrica no seu endurecimento (MONTEIRO, 2015).

O estudo de caracterização do gesso pode ser estudado no estado fresco e endurecido. No estado fresco pode ser observado o tempo de pega, e no estado endurecido pode ser observado a resistência mecânica de tração na flexão e resistência à compressão. É sabido que o uso do gesso na construção civil é seguido de perda de material, segundo Lima (2013) e Monteiro (2015) isto pode ser explicado devido ao tempo de pega e endurecimento serem rápidos.

O uso de aditivos químicos, podem melhorar as propriedades do gesso. Estes, tem por finalidade alterar as características do material com vistas a potencializar o seu uso, conferindo-lhe alterações de propriedades e aspectos, principalmente com vistas a alterações de sua resistência, plasticidade, tempo de pega e endurecimento (MONTEIRO 2015).

Entende-se por aditivos o conjunto de substâncias que são adicionados propositalmente, em pequenas proporções, com a finalidade de reforçar ou alterar uma ou mais características, conferindo propriedades para utilização (BAUER, 2015).

Segundo Ambrozewicz, (2012) a glicose ($\text{C}_{12} \text{H}_{22} \text{O}_{11}$) pode ser utilizado como retardador do tempo de pega em materiais cimentícios.

Neste artigo, serão apresentados os resultados de um estudo experimental que avaliou o efeito da adição da polpa do maracujá na mistura de água e gesso, analisando seu impacto no tempo de pega e nas propriedades físicas do material resultante.

MATERIAIS E MÉTODOS

I Análise de açúcares do endocarpo

O objetivo deste método é avaliar a quantidade de Sólidos Solúveis Totais (SST) através da escala Brix. Para a análise, foi utilizado um refratômetro de bancada, colocado 1mL na superfície do prisma posicionado perto da luz para melhor observação, e foi visualizado pelo ocular do refratômetro, onde foi ajustado à distância focal com o ocular do equipamento por 30 segundos e realizou-se a leitura por três vezes para utilizar a média. (IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: IAL, 2008. 1018p).

II Tempo de pega

O gesso utilizado foi adquirido na cidade de Pombal-PB em sacos de 40kg, indicado para revestimento. Para o preparo de cada molde foi utilizado 300 g de gesso e 850 g de água. O aditivo utilizado foi a polpa de maracujá: 10g e 30 g diluído em 1000g de água. Os tempos de início e fim de pega das pastas de gesso foram medidos através do aparelho de Vicat (figura 1) de acordo com o estabelecido pela NBR 12128-2019. O aparelho possui um molde com formato cônico com base de 70mm, topo de 60mm, altura de 40mm e agulha com diâmetro (1,13 0,02) mm.

Figura 1- Aparelho de Vicat



Fonte: Autoria própria (2023)

III Resistência Mecânica

Para determinação da resistência mecânica foi realizado os ensaios de resistência a tração na flexão e resistência mecânica, conforme NBR 13279/2005 - "Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão". Essa NBR foi utilizada uma vez que não existe metodologia para pasta de gesso.

Para a resistência de tração na flexão foi utilizado formas prismáticas e para cada composição foram moldados três primas, o ensaio foi realizado aos 3, 7 e 28 dias. A resistência da tração na flexão foi obtida através da equação 1:

Equação 1

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3}$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em Mpa;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes em milímetros;

Após o rompimento a tração na flexão os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão. Para a determinação da resistência à compressão foi utilizada a equação 2:

$$R = \frac{P}{S}$$

Equação 2

Onde:

R é a resistência à compressão, em MPa;

P é a carga de ruptura, em N;

S é área de seção transversal de aplicação da carga, em mm²;

RESULTADOS E DISCURSÕES

Tempo de pega

Na Tabela 1, estão representados os valores dos tempos médios de início e fim de pega. Este tempo é a média entre três determinações realizadas para GC- gesso controle sem aditivo; 10g e 30g de concentração de polpa de maracujá.

Tabela 1- Tempo de início e fim de pega para GC- gesso controle; concentração de 10g e 30g

Tipo	Fator a/g	Tempos de Pega (min)	
		Início	Fim
GC	0,5	28	43
10g		51	65
30g		94	134

Fonte: Autoria própria

O tempo de início e fim de pega para o gesso controle foi de 28 min e 43 min respectivamente, de acordo com a NBR 13207 (2017), uma pasta de gesso para revestimento sem aditivo dosada para consistência normal deve apresentar um tempo de início e fim de pega maior ou igual a 10 min e 35 min, respectivamente. O GC ficou dentro do especificado pela NBR. Nogueira (2012) com relação a/g = 0,5 encontrou tempo de início de pega de 13min e fim de pega de 23 min, o valor de início de pega foi condizente com a NBR 13207 (2017), enquanto o tempo de fim de pega não contemplou a norma citada. No entanto a variação entre esse estudo e o de Nogueira (2012) pode ser devido à falta de controle durante o processo de fabricação do material, ou até mesmo a questão do transporte e armazenamento. Visto que, apesar da indústria gesseira ser uma indústria consolidada quanto a produção, existe muitas fábricas de pequeno porte, que vendem o gesso sem nenhum tipo de controle durante o processo de fabricação.

Para o gesso com aditivo natural a base de polpa de maracujá com 10g e 30g atendeu as especificações da NBR 13207 (2017) que é de maior ou igual a 4min para início de pega e maior ou igual a 50 min para final de pega.

Comparando o GC-gesso controle com a adição de 10g de polpa de maracujá foi observado o aumento de início de pega em 23min e o fim de pega 22 min; enquanto para a adição de 30g o aumento do início de pega foi de 66 min e final de pega de 91 minutos. Segundo Ambrozewicz (2012) a glicose ($C_{12}H_{12}O_6$) pode ser utilizado como retardador do tempo de pega em materiais cimentícios. O maracujá é uma fruta naturalmente baixa em açúcar. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), uma porção de 100 gramas de maracujá contém cerca de 11 gramas de carboidratos, dos quais apenas 2,2 gramas são açúcares naturais. O restante dos carboidratos são fibras alimentares

Através do refratômetro foi obtido um resultado em uma média entre 14,2% de açúcares para mais ou para menos, encontrados em 100g da polpa do *Passiflora Edulis*. Neste sentido essa quantidade de açúcares presentes e a água deve ter contribuído para um aumento do início e fim de pega. O aumento do tempo de pega observado com o aumento da concentração da polpa de maracujá pode ser explicado devido a concentração de açúcar presente na mistura.

Nogueira (2012) estudou a incorporação de látex em 1%, 3% e 5% em pasta de gesso com $a/g = 0,5$ e encontrou para 1% início e fim de pega de 32min e 43min respectivamente. Para 3% 1h 30' início de pega e 1h40' para fim de pega e para 5% foi observado 2h e 2h20' para início e fim de pega respectivamente. Observa-se que a incorporação de 30g de polpa de maracujá chega próximo aos valores de Nogueira (2012). No entanto o período de reação para a adição de 30g de maracujá foi de 30 min, valor maior que o observado por Nogueira (2012) pois com 5% de adição do látex foi de 20 min.

Bardella (2011) cita que a relação a/g , é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o período de indução e retardamento no início da precipitação dos cristais de di-hidrato, pois as distâncias entre as partículas aumentam com o aumento da relação a/g e, portanto, os cristais de di-hidrato vão ter mais espaço para crescer; assim, o tempo de pega aumenta, pois o crescimento dos cristais vai ser mais lento (BARDELLA, 2011).

RESISTÊNCIA MECÂNICA

I Tração na flexão

A figura 2 representa a preparação do ensaio (a) e a realização do ensaio de tração na flexão (b).

Figura 2- Preparo do corpo de prova para ensaio de resistência a tração na flexão (a) e realização do ensaio (b)



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados de tração na flexão apresentados na tabela 2, representam a média de três ensaios para o GC gesso controle, adição de 10g e 30g de polpa de maracujá diluídos em 1000g de água para idades de 3, 7 e 28 dias.

Tabela 2- Resistência de tração na flexão

Tipo	Idade	Resistênciatração na flexão (Mpa)
GC	3	0,3
	7	0,3
	28	0,6
10g	3	3,9
	7	4,8
	28	9,7
30g	3	3,9
	7	3,9
	28	6,7

Fonte: autoria própria (2023)

A resistência de tração na flexão para o GC- gesso controle não houve diferença aos 3 e 7 dias e para idade de 28 dias houve um aumento de 0,3 Mpa. Para adição de 10g de gesso foi possível identificar um aumento de 0,9 Mpa de aos 7 dias e aumento de 5,8 Mpa aos 28 dias. Aumentando-se a proporção da polpa de maracujá foi possível identificar que aos 3 e 7 dias não houve aumento da resistência da tração na flexão e que aos 28 dias o aumento foi de 2,8 Mpa.

Quando comparados a pasta de gesso controle e a pasta de gesso com adição de 10g de polpa de maracujá foi possível um acréscimo na resistência em 3,3 Mpa para idade de 3 dias; de 4,5 Mpa para 7 dias e de 9,1 Mpa aos 28 dias. Com o aumento da polpa de maracujá para 30g houve a diminuição da resistência de tração na flexão em todas as idades.

A resistência à tração na flexão é um indicador de resistência mecânica, representando a capacidade que um determinado corpo possui de resistir a esforços transversais. Os gessos nacionais, apresentam resistência à tração na flexão que variaram de 4,40 Mpa a 10,50 Mpa (ERBS, 2016). O gesso controle não conseguiu atingir o valor mínimo de 4,4 Mpa. Apesar da indústria gesseira ser uma indústria consolidada quanto a produção, existe muitas fábricas de pequeno porte, que vendem o gesso sem nenhum tipo de controle durante o processo de fabricação (MONTEIRO 2015). Para adição de 10g de polpa de maracujá foi possível atingir 4,8 Mpa aos 7 dias e 9,7 Mpa aos 28 dias, estando compatível com a indústria gesseira, como citado por ERBS, (2016). Para a adição de 30g da polpa de maracujá só foi possível chegar ao especificado pela indústria gesseira aos 28 dias com o valor de 6,7 Mpa.

II Resistência à compressão

Na figura 3 é possível identificar o ensaio de resistência à compressão e na tabela 3 é possível verificar a média de 6 corpos de prova para o GC gesso controle, 10g e 30g de adição da polpa de maracujá.

Figura 3- Ensaio de resistência à compressão



Fonte: autoria própria (2023)

Tabela 3 - Resistência à compressão

Tipo	Idade	Resistência à compressão (Mpa)
GC	3	7,2
	7	7,2
	28	16,5
10g	3	6,8
	7	6,5
	28	15,6
30g	3	6,9
	7	7,9
	28	14,7

Fonte: autoria própria 2023

Para o ensaio de resistência à compressão do GC- gesso controle aos 3 e 7 dias não houve aumento de resistência permanecendo com 7,2 Mpa; para idade de 28 dias houve um aumento para 16,5 Mpa. Com 10g e 30g da polpa de maracujá os resultados do ensaio de resistência á compressão apresentou valores próximos ao GC, porém valores inferiores. Isto nos leva a acreditar que a polpa de maracujá não influenciou na resistência à compressão.

A resistência é resultado dos seguintes fatores: a qualidade do material (gesso e aditivos); a relação água/gesso; a idade do produto; e as condições de armazenamento do produto, também durante o endurecimento (FERREIRA, SOUZA e CARNEIRO, 2018).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a adição da polpa do maracujá na pasta de gesso influencia o tempo de pega e a resistência mecânica do material. O aumento do tempo de pega pode ser benéfico em aplicações onde é necessária uma maior trabalhabilidade do gesso. Quanto a resistência à tração na flexão aumentou quando foi colocado 10g da polpa de maracujá. A resistência à compressão não apresentou aumento significativos para 10g e 30g de polpa quando comparados ao gesso controle. Por se tratar de um primeiro estudo referente a utilização da polpa de maracujá se faz necessário estudos mais aprofundados para entendimento da utilização da polpa de maracujá como aditivo como por exemplo estudo de aderência em vários substratos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 12128-2019 Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso.

ABNT NBR 13279-2005 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.

ABNT NBR 13207 – 2017 – Gesso para construção civil- Requisitos.

ADRIEN, J. et al. In-Situ X-Ray Tomographic Monitoring of Gypsum Plaster Setting. *Cement and Concrete Research*, v. 82, p. 107-116, 2016.

AMBROZEWICZ, P, H, L. Livro – Materiais de Construção. São Paulo. Editora Pini, 2012.

BAUER, F. Livro- Materiais de Construção. Rio de Janeiro, LTC- Livros Técnicos e Científicos. 5 edição. Vol. 2015.

BARDELLA, P, S, B. Análise das propriedades da pasta de gesso de construção reciclado, 2011. Tese de Doutorado. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2011.

CINCOTTO, M, A; AGOPYAN, V; FLORINDO, M, C, O. O gesso como material de construção: propriedades físicas e mecânicas. In Edificações IPT. Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini. 1988.

CAMARINI, G; PINHEIRO, S, A, A. Gesso: Características e Reciclagem. Livro- Utilização de Resíduos Agroindustriais na Construção. Organização: Antônio Ludovico Beraldo. Campinas, SP. Editora da Unicamp, 2020

ERBS, A. Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado e gesso comum ao longo dos ciclos de reciclagem. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cuiabá 2016.

FERREIRA, C, F; SOZA, G, G, J; CARNEIRO, P, M, A. Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no polo gesseiro do Araripe. *Revista Ambiente Construído*. 2019.

LIMA, S. Y. V. Influência da adição de substâncias orgânicas no tempo de pega do gesso de construção. 2013. Monografia – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

MONTEIRO, A. G. D. S. (2015). Desenvolvimento de aditivo plastificante e retardador de pega para gesso a partir da mucilagem da palma forrageira. Dissertação de Mestrado Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015

NOGUEIRA, J, C. Melhoria das propriedades do gesso com aditivo sintético e com látex de euphorbia tirucalli e de hevea brasiliensis para uso na construção de habitações de interesse social. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 2012.

(IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: IAL, 2008. 1018p.)

SPRAY COM INSUMO NANOBIOTECNOLÓGICO NATURAL[®]

Fabíola Ornellas de Araújo

USP - Universidade de São Paulo, Brasil; UC - Universidade de Coimbra
ornellasfabiola1@gmail.com

RESUMO (Adaptação de Araújo, 2023^a, ^b)

Essa pesquisa é uma continuação dos estudos da cientista Araújo. O insumo nanobiotecnológico utilizado foi patenteado em 2018, através da Agência USP-Inovação (Araújo & Giudici, 2018). Esse insumo inovador foi inserido na formulação natural descrita nesse artigo, como spray

nanobiotecnológico algal, super refrescante, hidratante e revigorante para o rosto (facial).

Palavras-chave:

Insumo nanobiotecnológico[®]; Formulação natural; Spray nanobiotecnológico algal.

ABSTRACT (Adapted by Araújo, 2023^a, ^b)

This research is a continuation of studies by scientist Araújo. The nanobiotecnological input used was patented in 2018, through the USP-Innovation Agency (Araújo & Giudici, 2018).

This innovative input was inserted into the natural formulation described in this article, as an algal

nanobiotecnological spray, super refreshing, moisturizing and invigorating for the face (facial).

Keywords:

Nanobiotecnological input[®]; Natural formulation; Algal nanobiotecnological spray.

INTRODUÇÃO



s consumidores querem direcionar os benefícios que vêm da natureza, entre outros meios de conhecimento, para suas famílias. Eles estão procurando associar o custo do produto cosmético acabado, ao benefício que esse traz à saúde do corpo humano.

Essa pesquisa é uma continuidade dos estudos da cientista Araújo, que utilizou o insumo nanobiotecnológico patenteado (Araújo & Giudici, 2018), o qual foi utilizado na formulação natural (Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto), por conseguinte descrita nesse capítulo.

Contudo, esse insumo completamente natural e inovador poderá ser empregado em inúmeras formulações farmacêuticas. Na patente há as descrições pormenorizadas sobre essa inovação. E em relação, aos consumidores contemporâneos, há a consciência para usarem insumos farmacêuticos mais naturais, sustentáveis e saudáveis, essa atitude está cada vez mais crescente. Por isso que tem aumentado à busca por produtos naturais, veganos, e/ou orgânicos.

Esses consumidores atuais querem direcionar os benefícios que vêm da natureza, entre outros meios de conhecimento, para suas famílias. Eles estão buscando associar o custo do produto cosmético acabado (formulação farmacêutica cosmética à venda para os consumidores) com o benefício que esse traz para a saúde do corpo humano. Com isso, essa pesquisa é uma continuação dos estudos da cientista Araújo, a qual utilizou o insumo nanobiotecnológico patenteado (Araújo & Giudici, 2018), que foi inserido na formulação natural (Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto).

Dessa forma, o uso de insumos nanobiotecnológicos naturais é essencial para a saúde humana e o meio ambiente. Essa pesquisa é de fundamental importância, dada a atual consciência dos consumidores vigentes. Por isso, tem havido uma demanda crescente por formulações farmacêuticas mais biocompatíveis com o corpo, as quais possuem em seus rótulos descrições, tais como, nenhuma agressão à natureza (meio ambiente) e nenhum teste realizado em animais (Araújo & Giudici, 2018).

O uso dos insumos farmacêuticos naturais e/ou insumos naturais nanobiotecnológicos, mais biocompatíveis com o organismo humano, proporciona benefícios à saúde e ao meio ambiente. Segundo os cientistas Araújo, Giudici & Sousa, em 2019^{a, b, c, d}, a demanda pelo consumo de produtos biodegradáveis, naturais e sustentáveis que preservem o meio ambiente é fundamental.

Sendo assim, o desenvolvimento de cosméticos sustentáveis e tecnológicos, com componentes naturais, associado à biotecnologia, visando o menor impacto ambiental possível é de suma importância. Com isso, é essencial existirem o desenvolvimento de novas propostas de cosméticos, com componentes naturais provenientes, por exemplo, do extrato de microalgas associado à nanotecnologia, visando o menor impacto ambiental possível, devido ao mercado consumidor de beleza estar cada vez mais crescente no mundo.

O Brasil ocupa a quarta posição, depois dos Estados Unidos, Japão e França, em primeiro, segundo e terceiro, respectivamente, entre os dez países que mais consomem cosméticos no mundo (ABIHPEC, 2006). Garcia (2005) relatou que os grandes centros que envolvem o desenvolvimento de novas tecnologias na área de cosméticos são encontrados nos Estados Unidos e na Europa. Portanto, pesquisas serão mais solicitadas em diversas áreas industriais, especialmente nessa pesquisa (Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,b,c,d}).

Desse modo, a crescente demanda da indústria da vaidade e cuidados com a pele, para desenvolver produtos cosméticos mais sofisticados e renováveis para o ser humano está em crescente progresso com diferentes estratégias de marketing. Por isso é importante inovar os produtos cosméticos para que o consumidor obtenha um cosmético com qualidade, eficiência e eficácia protegendo e preservando as funções da pele, do fio capilar (Verma et al., 2003; Araújo et al., 2015; Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,d}).

Assim, houve uma demanda e um aumento por parte dos consumidores, buscando formulações farmacêuticas que constassem em suas embalagens, em seus rótulos a não agressão à natureza (ao meio ambiente), e a não utilização de testes em animais. Preferem associar o custo do produto cosmético acabado ao benefício que ele traz para a saúde do corpo humano (Araújo & Giudici, 2018), e estão sempre pesquisando diversas fontes de conhecimentos para novos insumos farmacêuticos que possam beneficiar a saúde individual (pessoal) e coletiva (familiar) (Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,d}).

Há uma demanda crescente por parte dos consumidores, que estão cada vez mais exigentes em adquirir formulações cosméticas mais interessantes, eficazes e eficientes, para que possam solucionar inúmeros problemas, tais como: ressecamento de pele; oleosidade excessiva (na pele, no couro cabeludo); fio capilar sem brilho, sem maleabilidade, entre outros aspectos.

Os consumidores querem direcionar para dentro de casa os benefícios existentes nos salões de beleza, nos comerciais de TV, entre outros meios de disseminação do conhecimento. Esses procuram associar o custo do produto cosmético acabado ao benefício que este traz para a pele (Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,d}).

Conseqüentemente, pode proporcionar ao consumidor benefícios para o cabelo, pele, hidratando, rejuvenescendo e até mesmo reestruturando, e ainda, esse insumo patenteado (Araújo & Giudici, 2018) pode ser utilizado na alimentação, por ser atóxico e ter sabor apreciável ao paladar, entre outros

usos. Isso significa que a sensibilização da sociedade para a utilização de produtos naturais à base de plantas e/ou algas (macroalgas, algas marinhas) e/ou microrganismos benéficos (microalgas, entre outros) diminuiria os efeitos negativos, como o uso de corantes sintéticos, na alimentação, medicina e cosmética (Kulshreshtha & Singh, 2013; Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a, b, c, d}).

O cultivo controlado desses organismos aquáticos (algas), realizado pelo homem, é uma indústria em crescimento e com grande projeção mundial e isso representa uma das atividades de produção de alimentos importantes para um futuro próximo. E, também, o uso frequente dos extratos de algas descrevendo-os em listas de ingredientes presentes nas embalagens, em formulações farmacêuticas, como cremes e/ou loções, para rosto, mãos e corpo, entre outros empregos, revela a crescente demanda por mais proteção ao meio ambiente, gerando uma consciência mais ecológica, sustentável, natural por parte dos consumidores. (Araújo, & Giudici, 2018).

Dessa forma, isso representa uma das atividades não só trazendo benefício na produção de alimentos sendo muito pertinente, para um futuro próximo, mas também, servindo como insumos presentes em embalagens, em formulações farmacêuticas, como cremes e/ou loções, para rosto, mãos e corpo, entre outras utilizações (Araújo & Giudici, 2018).

Portanto, a utilização de matérias-primas naturais com diferentes tipos de algas, como o uso de ficocolóides ((alginato (algina, ácido algínico), carragenina (carragenana ou carragena) e/ou ágar (ágar-ágar)), em diferentes tipos de formulações farmacêuticas, podem transferir propriedades físicas muito importantes, como estabilizantes emulsificantes, agentes gelificantes, espessantes, entre outras. Esses ficocolóides são solúveis em meio aquoso (FAO, 1987; Renn, 1997; Jensen, 1998; Kass, 1998).

A proposta desenvolvida nessa pesquisa foi um produto cosmético nanotecnológico acabado, designado como Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto (face) fazendo uso do insumo nanobiotecnológico, totalmente natural e inovador, o qual foi registrado na patente USP-2018 (Araújo & Giudici, 2018), podendo abranger diversos consumidores (jovens, adultos, idosos e/ou até mesmo crianças).

Esse insumo foi utilizado no spray com insumo nanobiotecnológico natural[®] podendo ocasionar o aprimoramento dos cosméticos existentes no mercado, tornando-os mais eficazes na hora da aplicação na pele (rosto, corpo), além disso, consumidores mais exigentes buscam adquirir produtos mais biodegradáveis, naturais e /ou sustentáveis que possam também, garantir a preservação do meio ambiente (adaptado de Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a, b, d}).

Segundo os cientistas, Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a, b, d}, essa pesquisa contribuiu de forma relevante para o surgimento de um novo insumo nanobiotecnológico completamente natural, podendo proporcionar inúmeras possibilidades de produtos sustentáveis, por exemplo, na área de cosméticos para seres humanos, beneficiando-os, e também, sendo benéfico para outros seres vivos.

As técnicas biotecnológicas (processos de alimentação descontínuos e/ou descontínuos) utilizadas, e a obtenção de novos produtos mais sofisticados de algas (microalgas, macroalgas) podem influenciar o desenvolvimento de produtos cosméticos acabados (formulações) mais sofisticados, por exemplo, visando os cuidados com a pele (rosto, corpo), e com o fio capilar.

A investigação dos cientistas tem-se centrado em uma tecnologia considerada "verde" associada ao desenvolvimento sustentável, que utiliza processos biotecnológicos (matérias-primas vegetais, microalgas e macroalgas) e ao mesmo tempo usufrui dos benefícios da nanotecnologia (através de custos viáveis que podem enriquecer a ciência da nanobiotecnologia).

Em suma, a utilização de novos insumos farmacêuticos biocompatíveis com o organismo humano, que tragam benefícios, por exemplo, ao fio capilar e à pele, sãoé muito importantesimportante. O insumo desenvolvido na patente USP-2018 (Araújo & Giudici, 2018), o qual foi utilizado nessa pesquisa mostrou-se uma alternativa promissora, não só na área cosmética, mas também, em outras áreas, conforme descrito nesse capítulo (Araújo & Giudici, 2018; Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,b,d}).

Formulação farmacêutica (Cosmética)

(Adaptação de Araújo, 2023^{a,b}).

O Brasil é um país com diferentes tipos de clima: equatorial, tropical, tropical de altitude, tropical atlântico, semiárido e subtropical, dependendo do local, onde se está, há mais ou menos sol. É fundamental o uso diário de formulações farmacêuticas (cosméticas) hidratantes e refrescantes, como essa, a qual possui um insumo farmacêutico obtido por meio da nanobiotecnologia, cujo nome dado foi: Spray refrescante nanobiotecnológico[®] * utilizado na pele do rosto (**Tabela 1**).

Esse insumo nanobiotecnológico completamente natural está registrado como patente no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial). Poderá ser adquirido (comprado) por Empresas (Pessoas Jurídicas), através do contato direto com a Agência USP-Inovação (<http://www.inovacao.usp.br>) (**Tabela 1**).

Há três testes de formulações farmacêuticas (cosméticas) descritos no capítulo. Contudo, foram realizados inúmeros outros testes (**Tabela 1**).

A autora possui outras patentes (Agência USP-Inovação: <http://www.inovacao.usp.br>).

Tabela 1 - Formulação teste 1

Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto (Adaptação de Araújo, 2023^{a,b}).

Fases	Composição	Concentração (100%)
A	Extrato aquoso de rosas; e/ou hidrolato de rosas (branca, rosa, amarela, vermelha); e/ou um “blend” de rosas de sua preferência).	qsp
A	Gluconato de sódio	0,22%
B	Óleo de rosa mosqueta orgânico	1,18%
B	Vitamina E	1,04%
B	Olivoil [®]	1,88%
C	Solução de Benzoato de Sódio e Sorbato de Potássio	1%
D	Insumo nanobiotecnológico algal ^{®*}	1,37%
E	Ajustar o pH se necessário (corretor de pH)	qs

*Desenvolvido em pesquisa (Araújo & Giudici, 2018 (Agência USP de Inovação)). Essa formulação é um exemplo, entre os inúmeros testes de formulações farmacêuticas, realizados pela cientista.

Tabela 2 - Formulação teste 2

Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto (Adaptação de Araújo, 2023^{a,b}).

Fases	Composição	Concentração (100%)
A	Extrato aquoso de rosas; e/ou hidrolato de rosas (branca, rosa, amarela, vermelha); e/ou um “ blend” de rosas de sua preferência).	qsp
A	Gluconato de sódio	0,25%
B	Óleo de rosa mosqueta orgânico	1,02%
B	Vitamina E	1,01%
B	Olivoil [®]	2,75%
C	Solução de Benzoato de Sódio e Sorbato de Potássio	1%
D	Insumo nanobiotecnológico algal ^{®*}	3,63%
E	Ajustar o pH se necessário (corretor de pH)	qs

*Desenvolvido em pesquisa (Araújo & Giudici, 2018 (Agência USP de Inovação)). Essa formulação é um exemplo, entre os inúmeros testes de formulações farmacêuticas, realizados pela cientista.

Tabela 3 - Formulação teste 3

Spray refrescante nanobiotecnológico de algas para o rosto (Adaptação de Araújo, 2023^{a,b}).

Fases	Composição	Concentração (100%)
A	Extrato aquoso de rosas; e/ou hidrolato de rosas (branca, rosa, amarela, vermelha); e/ou um “blend” de rosas de sua preferência).	qsp
A	Gluconato de sódio	0,28%
B	Óleo de rosa mosqueta orgânico	1,05%
B	Vitamina E	1%
B	Olivoil [®]	1,67%
C	Solução de Benzoato de Sódio e Sorbato de Potássio	0,85%
D	Insumo nanobiotecnológico algal ^{®*}	1,89%
E	Ajustar o pH se necessário (corretor de pH)	qs

*Desenvolvido em pesquisa (Araújo & Giudici, 2018 (Agência USP de Inovação)). Essa formulação é um exemplo, entre os inúmeros testes de formulações farmacêuticas, realizados pela cientista.

Técnica farmacotécnica (Método de preparação farmacotécnica)

(Araújo, 2023^{a,b}):

- Homogeneizar os insumos da fase A, reserve-os;
- Homogeneizar os insumos da fase B, e logo em seguida verter a fase A na B; ou fase B em A, sempre com baixa agitação, para não formar muita espuma;
- Inserir o insumo farmacêutico da fase C, homogeneizando-o com baixíssima agitação, sem formar muita espuma;
- E, por fim, adicionar a fase E, também homogeneizando, com baixíssima agitação, sem formar muita espuma;
- Se necessário, ajustar o pH da formulação farmacêutica, utilizar as soluções farmacêuticas (químicas) (recomendação: ácido cítrico (para baixar o pH) e/ou hidróxido de sódio (para aumentar o pH)). A recomendação/ sugestão é que essa formulação, para o melhor funcionamento do conservante natural utilizado, esteja na faixa de pH 4,5 a 5,5.

O uso de insumos nanobiotecnológicos completamente naturais é essencial para a saúde humana e para o meio ambiente.

Essa pesquisa é de fundamental importância, dada a consciência atual dos consumidores sobre o uso de insumos farmacêuticos mais naturais, sustentáveis e saudáveis.

Assim, tem ocorrido uma demanda crescente por formulações farmacêuticas mais biocompatíveis com o organismo, as quais não deveriam ter em seus rótulos nenhuma agressão à natureza (meio ambiente) e nenhum uso de testes em animais (Araújo & Giudici, 2018).

Por conseguinte, os consumidores desejam direcionar os benefícios provenientes da natureza, entre outros meios de conhecimento, para si e para suas famílias. Dessa forma, os consumidores conscientes, exigentes e sábios buscam associar o custo do produto cosmético acabado ao benefício ("custo-benefício"), que ele traz para a saúde do corpo humano.

Sendo que, as formulações farmacêuticas inovadoras que utilizam insumos totalmente naturais (Insumo nanobiotecnológico algal[®]), como é o caso dessa pesquisa não só beneficiará o ser humano, mas também, os animais (de pequeno porte, grande porte), conseqüentemente, não prejudicará a natureza com descartes de resíduos tóxicos e/ou resíduos que desequilibrem o ecossistema terrestre e/ou aquático.

Em suma, essa pesquisa é uma continuação dos estudos da cientista Araújo, a qual utilizou o insumo nanobiotecnológico patenteado em 2018, através da Agência USP-Inovação (Araújo & Giudici, 2018). Esse insumo inovador foi inserido na formulação natural descrita nesse artigo, como spray nanobiotecnológico algal, super refrescante, hidratante e revigorante para o rosto (facial).

CONCLUSÃO

(Adaptação de Araújo, 2023^{a,b}).

As algas podem fornecer suprimento nanobiotecnológico para o desenvolvimento de novas formulações cosméticas naturais, podendo ser um recurso que apresenta boa aceitação por parte dos consumidores, por ser ecologicamente correto. Dependendo da espécie de alga estudada poderá disponibilizar diferentes composições proteicas e/ou lipídicas, entre outras substâncias benéficas para o ser humano, e animais (Araújo & Giudici, 2018; Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,b,c,d}; Araújo, 2023^{a,b}).

Com isto, foram realizados inúmeros testes com porcentagens diferenciadas de insumos farmacêuticos, para poder se obter a formulação mais adequada para uso, com inúmeros testes realizados (Araújo & Giudici, 2018).

Sendo assim, uma melhor compreensão dos metabólitos secundários, designados de química ecológica, chamados de "verdes" pode nos permitir descobrir e encontrar esses valiosos compostos para uso não só em cosméticos, mas também para uso em fármacos, e/ou diversos fins industriais, melhorando dessa maneira, a vida do ser humano como um todo (Araújo, Giudici & Sousa, 2019^a), e também, podendo beneficiar os animais (de pequeno porte, grande porte).

Dessa forma, a busca por alternativas mais sustentáveis na obtenção de matérias-primas mais renováveis faz parte da consciência da sociedade tecnológica atual (Araújo et al., 2015; Araújo & Giudici, 2018; Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,b,c}).

Em conclusão, os insumos nanobiotecnológicos patenteados podem ser utilizados em diferentes formulações como xampu (Araújo, Giudici & Sousa, 2019^{a,b,c}), sabonete líquido natural, spray para o rosto, sabonete em barra, creme, loção, entre outras formulações.

AGRADECIMENTOS

A autora (PhD. Pós-Doc. Fabíola Ornellas de Araújo)^{1,2} agradece: (i) os professores, PhD. Pós-Doc. Reinaldo Giudici¹ e PhD. Pós-Doc. João José Martins Simões de Sousa², pelas oportunidades da utilização do laboratório, por ter realizado suas pesquisas científicas; e (ii) ao apoio financeiro do CNPq (Processo de bolsa de pós-doutorado: 167568/2017-5).

REFERÊNCIAS

ABIHPEC (Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos). Panorama do Setor: Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. (2006). Disponível em: www.abihpec.org.br/dadosdomercado_panorama_setor.php. Acessado em 01 de março de 2015.

Araújo, F. O.; Carvalho, J.C.M.; Velasco, M. V. R. & Baby, A. R.. (2015). Natural Shampoo using resources from aquatic environments. HOUSEHOLD AND PERSONAL CARE TODAY (TESTO STAMPATO).10: 46-50.

Araújo, F. O. & Giudici, R.. (Agência USP de Inovação) (2018). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP-SP). "Processo para obtenção de insumos nanobiotecnológicos, formulação farmacêutica e usos da mesma". BR102017024578-0. 07 de agosto de 2018. Revista da Propriedade Industrial - RPI Nº. 2483, p. 306.

Araújo, F.O., Giudici, R. & Sousa, J.J.M.. (2019). Use of natural nanobiotechnological input in a pharmaceutical formulation. Research, Society and Development, v. 9 (n. 2): 1- 14a.

Araújo, F.O., Giudici, R. & Sousa, J.J.M.. (2019). Cultivation of the microalgae *Chlorella pyrenoidosa* using the processes of Biotechnology. Revista Eletrônica Acervo Científico/ Eletronic Journal Science Collection, 2, e121. <https://doi.org/10.25248/react.e121>. 2019 b

Araújo, F.O., Giudici, R. & Sousa, J.J.M.. (2019). Identification of the lipids of the microalgae *Chlorella pyrenoidosa*, after obtaining this through use of biotechnology. Revista Eletrônica Acervo Científico/ Eletronic Journal Science Collection, 3, e122. <https://doi.org/10.25248/react.e122>. 2019c.

Araújo, F.O., Giudici, R. & Sousa, J.J.M.. (2019). Natural shampoo using nanobiotechnological supply of *Chlorella pyrenoidosa*. Revista Eletrônica Acervo Científico/ Eletronic Journal Science Collection, 4, e123. <https://doi.org/10.25248/react.e123>. 2019d.

Araújo, F.O.. (2023). Use of a nanobiotechnological input a pharmaceutical formulation for the face. In: Carvalho Junior, F. F. de & Silva, D. A. da.. Ciências da Saúde: desafios e potencialidades em pesquisa. Ed. 1, Vol. 3, 154-161pa.

Araújo, F. O.. (2023). Formulação farmacêutica (cosmética) com insumo nanobiotecnológico natural®. RCMS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP. Ano III, v.3, ed. 2. DOI: 10.51473/ed.al.v3i2.785 | 1-4pb.

FAO (Food and Agriculture Organization) (1987). Production and utilization of products from comercial seaweeds. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma, Itália. 288p.

Garcia, R.. (2005). Internacionalização comercial e produtiva na indústria de cosméticos: desafios competitivos para empresas brasileiras. Revista Produção. 15: 158-171.

Jensen, A.. (1998). The seaweed resources of Norway. In: Critchley, A.T. and Ohno, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, Japan. 200-209p.

Kass, R.. (1998). The seaweed resources of France. In: CRITCHLEY, A.T. and OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency, Yokosuka, Japan. 233-244p.

Kulshreshtha, J. & Singh, G. P.. (2013). Evaluation of various inorganic media for growth and biopigments of *Dunaliella salina*. *Int. J. Pharm. Bio. Sci.*. 4: (B) 1083–1089.

Renn, D.. (1997). Biotechnology and the red seaweed polysaccharide industry: status, needs and prospects. *Trends in Biotech.*. 15: 9-14.

Verma, D. D., Verma, S., Blume, G. & Fahr, A.. (2003). Particle size of liposomes influences dermal delivery of substances into skin. *International Journal of Pharmaceutics*. 258: 141–151.

PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO UTILIZANDO HIDROLISADOS ÁCIDOS DOS RESÍDUOS DE SABUGO DE MILHO, SISAL E MANDIOCA POR CO-FERMENTAÇÃO DE LEVEDURAS: UMA REVISÃO

Mariane Daniella da Silva
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

Crispin Humberto Garcia Cruz
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

RESUMO

Os materiais lignocelulósicos são gerados em grande quantidade por resíduos industriais, da agricultura e/ou urbanos, entre outros. Estes podem ser utilizados como fonte de biomassa para a produção de etanol de segunda geração. Destes materiais destacam-se o sabugo de milho, sisal e resíduos de mandioca. Para isso, esses materiais devem ser hidrolisados com ácido sulfúrico diluído e aquecimento com vapor. Após, devem ser desintoxicados para remoção dos compostos inibitórios da fermentação. A hidrólise ácida promove a separação das cadeias de lignina, hemicelulose e celulose; que por sua vez, dão origem a moléculas de hexoses e pentoses, principalmente glicose e xilose, que poderão ser utilizadas por microorganismos para produção de etanol 2G. A levedura comumente utilizada na produção de etanol é

Saccharomyces cerevisiae. Entretanto, esta somente consegue utilizar glicose, mas não xilose. Desta maneira é necessário utilizar outra levedura que possa utilizar essa pentose para o melhor aproveitamento dos materiais lignocelulósicos. Entre as leveduras que na ausência de glicose consomem xilose se destaca a *Pachysolen tannophilus*. Portanto, uma solução econômica e viável, para produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, aproveitando a utilização dos dois maiores componentes desses materiais (glicose e xilose) seria a co-fermentação ou co-cultura destas leveduras para realizar o processo fermentativo.

Palavras-chave:

Co-Fermentação; Resíduos Lignocelulósicos; Bio-Combustível.

ABSTRACT

Lignocellulosic materials are generated in large quantities by industrial, agricultural and/or urban waste, among others. These can be used as a source of biomass for the production of second generation ethanol. Among these materials, corn cobs, sisal and cassava residues stand out. To do this, these materials must be hydrolyzed with dilute sulfuric acid and heated with steam. Afterwards, they must be detoxified to remove fermentation inhibitory compounds. Acid hydrolysis promotes the separation of lignin, hemicellulose and cellulose chains; which in turn give rise to hexose and pentose molecules, mainly glucose and xylose, which can be used by microorganisms to produce 2G ethanol. The yeast commonly used in ethanol production is

Saccharomyces cerevisiae. However, it can only use glucose, but not xylose. Therefore, it is necessary to use another yeast that can use this pentose for better use of lignocellulosic materials. Among the yeasts that, in the absence of glucose, consume xylose, *Pachysolen tannophilus* stands out. Therefore, an economical and viable solution for producing ethanol from lignocellulosic materials, taking advantage of the use of the two largest components of these materials (glucose and xylose) would be the co-fermentation or co-culture of these yeasts to carry out the fermentation process.

Keywords:

Co-Fermentation; Lignocellulosic Waste; Bio-Fuel.

INTRODUÇÃO



Atual crescimento populacional está relacionado diretamente com o aumento do consumo dos combustíveis fósseis, com maior demanda de alimentos e água potável, impactando o meio ambiente de todo o planeta. Com isso, temos a necessidade de redução das emissões de gases do efeito estufa e consequentemente do aquecimento global.

Para que isso seja consolidado é imprescindível reduzir o uso das fontes de energia não renováveis, que são altamente poluentes, e pesquisar fontes alternativas renováveis. O que torna a produção de bioetanol interessante e vantajosa para o mundo todo, uma vez que, o etanol apresenta uma matriz energética mais limpa, quando comparado com os combustíveis de origens fósseis, como a gasolina e o diesel, além do seu alto valor de octanagem e combustão eficiente. Portanto, o uso desse álcool é uma alternativa menos poluente ao meio ambiente.

O etanol combustível, denominado etanol de primeira geração, é produzido a partir da fermentação de açúcares provenientes de matérias-primas vegetais, como a cana-de-açúcar, o milho, o trigo e a beterraba açucareira, o que gera muitos resíduos. Por outro lado, na agricultura e na indústria alimentícia também há grande produção de resíduos que são dispostos inadequadamente, descartados ou queimados, sendo um problema ambiental. Em geral, a estrutura da parede celular desses resíduos apresenta lignina, hemicelulose e celulose, que, quando rompidas liberam monossacarídeos, os quais, podem ser utilizados por micro-organismos para a produção de etanol de segunda geração (etanol 2G).

As pesquisas para a reutilização desses resíduos como substratos para produção de etanol 2G buscam solucionar o problema da poluição ambiental gerada por eles, já que é obtido a partir de material lignocelulósico, que não é comestível, não competindo com as áreas cultiváveis utilizadas para a produção de alimentos, uma vez que o produto de interesse já foi extraído. Além de que, também podem ser usadas outras culturas que não são utilizadas na alimentação humana.

No Brasil, os resíduos provenientes do setor sucroalcooleiro são os mais utilizados em pesquisas para obtenção do etanol 2G, por apresentarem vasta disponibilidade. No entanto, outros tipos de resíduos lignocelulósicos são promissores para a produção de etanol 2G, como, por exemplo, os resíduos do milho, como o sabugo, a planta de sisal e os resíduos de mandioca que serão estudados neste trabalho.

O processo para a produção de etanol 2G é baseado em quatro fases: o pré-tratamento do resíduo, sua hidrólise e fermentação e por último a destilação para obtenção do produto final. O pré-tratamento, em geral, consiste na redução do tamanho da partícula do material lignocelulósico, enquanto a hidrólise é a quebra das ligações químicas entre as moléculas constituintes. Esta pode ser realizada por meio de métodos químicos, físicos ou biológicos.

Na fermentação alcoólica, o micro-organismo mais comumente utilizado é a levedura *Saccharomyces cerevisiae* por ser capaz de produzir etanol em altas concentrações. Além disso, a *S. cerevisiae* é resistente a diferentes meios de cultura e condições fermentativas. Contudo, não utiliza todos os açúcares obtidos pela hidrólise da estrutura lignocelulósica, uma vez que, não assimila a xilose que é liberada durante o processo de hidrólise da biomassa. Ainda assim, essa levedura é considerada um micro-organismo vantajoso para a conversão dos hidrolisados lignocelulósicos em etanol. Isso em decorrência da sua alta tolerância a altas concentrações de etanol no meio de cultura e à capacidade para fermentar em condições estritamente anaeróbicas.

Na literatura são apresentadas duas alternativas para o melhor aproveitamento dos açúcares fermentescíveis (hexoses e pentoses) liberados na hidrólise da biomassa lignocelulósica. A primeira utiliza micro-organismos geneticamente modificados, com o objetivo de fermentar tanto a glicose quanto a xilose. E a segunda utiliza dois micro-organismos simultaneamente em um único sistema reacional, definido como “co-cultura”.

A *Pachysolen tannophilus* é uma levedura que tem capacidade natural de utilizar glicose e, na ausência dessa, pode utilizar xilose para a produção de etanol. Deste modo, foi possível formar uma co-cultura (consórcio) entre as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 26602 e a *Pachysolen tannophilus* CCT 1891.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ETANOL

O Brasil foi o primeiro país a utilizar os biocombustíveis e atualmente é o líder na tecnologia da produção e o maior produtor mundial de etanol de cana-de-açúcar. Além disso, é o segundo maior gerador de bioetanol do mundo, sendo responsável por 30% da produção total mundial com 8,86 milhões de galões gerados em 2019 e 7,43 em 2021. Os Estados Unidos (EUA), entretanto, empregam o milho para a produção desse combustível e lideram o ranking com 55% da produção total mundial, 15 milhões de galões (RFA, 2021).

O etanol surgiu no Brasil em 1975, por meio do programa Proálcool (Programa Nacional do Álcool), que tinha como objetivo diminuir a importação do petróleo, uma vez que, o preço do barril estava alto em todo o mundo, e assim, o etanol seria produzido a partir da cana-de-açúcar para ser empregado em veículos de combustão interna. Além da substituição à gasolina, iria diminuir a dependência da utilização de combustíveis fósseis, que são recursos naturais não renováveis e sua queima é menos poluentes ao meio ambiente (CGEE, 2017).

Em 2021 nos EUA, a adição de etanol na gasolina reduziu a emissão de CO₂, gás que causa o efeito estufa, em 54,5 milhões de toneladas no setor de transporte. Isso é equivalente a remover 12 milhões de carros das estradas por um ano inteiro ou eliminar a emissão anual de 13 usinas de carvão (RFA, 2021).

O etanol comum também é conhecido como etanol de primeira geração é uma opção para produção sustentável de energia, gerada a partir de uma grande variedade de matérias-primas vegetais que contenham quantidades significativas de açúcares ou de estruturas poliméricas, tais como, o amido e a celulose, que podem ser hidrolisadas e convertidas em açúcares fermentescíveis (GOLDEMBERG et al., 2017). No entanto, outras matérias-primas, resíduos agroindustriais, por exemplo, ricos em fibras celulósicas e amido também podem ser utilizados. Esses resíduos lignocelulósicos, identificados como biomassa, são as fontes biológicas renováveis mais abundantes da natureza. (GOLDEMBERG et al., 2017).

2.2 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

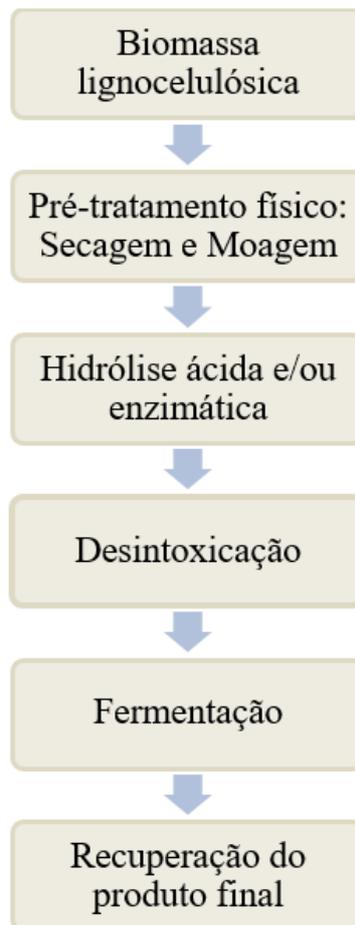
O etanol de segunda geração (2G) é o etanol chamado de celulósico, produzido a partir de açúcares fermentescíveis derivados do rompimento das cadeias de celulose e hemicelulose da biomassa proveniente de materiais industriais, resíduos agrícolas e florestais, ou seja, das partes não comestíveis de uma planta. A produção de etanol 2G é vantajosa nas questões ambientais, pois, é obtido a partir do aproveitamento de resíduos que seriam inutilizados, sendo assim, substitutos potenciais para as fontes não renováveis (CGEE, 2017)

Os resíduos lignocelulósicos apresentam em sua constituição polímeros de carboidratos que, depois de hidrolisados resultam em monossacarídeos que podem ser convertidos pelos micro-organismos em etanol de segunda geração. Desta forma, são utilizados vegetais ou seus resíduos como matéria-prima sem a necessidade de estender a área de cultivo para cana-de-açúcar ou ocupar as áreas já utilizadas para produção de alimentos (NGUYEN et al., 2017; VALLEJOS et al., 2017).

O processo geral para a geração do etanol celulósico inicia-se a partir da moagem do material para reduzir o tamanho das partículas. A biomassa moída deve sofrer um tratamento que cause a quebra da rede lignocelulósica em frações individuais de celulose, hemicelulose e lignina que possam ser transformadas em monômeros de açúcares por meio de um tratamento químico ou enzimático, que por sua vez, serão convertidos a etanol durante a fermentação microbiana. O etanol produzido Nesse

hidrolisado (caldo de fermentação) é recuperado por destilação e purificado para obter o etanol combustível. Portanto, o processo necessário para a obtenção do etanol a partir da biomassa lignocelulósica pode ser dividido em quatro etapas principais que incluem pré-tratamento, hidrólise, fermentação e recuperação do produto (Fluxograma 1).

Figura 1 - Esquema do processo de produção do etanol de segunda geração.



Fonte: Autoria própria.

No Brasil há duas empresas que produzem etanol 2G, implantadas em 2014, a GranBio, em São Miguel dos Campos – Alagoas, que utiliza o processo de sacarificação e fermentação simultânea (SSF), e a Raízen, em Piracicaba – São Paulo, que emprega a fermentação por sacarificação e hidrólise separada (SHF).

A GranBio foi a primeira biorrefinaria do Hemisfério Sul a fabricar o etanol 2G em escala industrial. O processo usa a palha da cana-de-açúcar, e apresenta as etapas de pré-tratamento por explosão a vapor, hidrólise enzimática e fermentação por uma linhagem geneticamente modificada capaz de consumir pentoses e hexoses. Esta empresa tem capacidade de produção de 30 milhões de litros por ano (GRANBIO, 2020).

Enquanto a produção da planta da Granbio é voltada exclusivamente para a produção de etanol 2G, a Raízen opera uma planta integrada com produção de etanol de primeira geração (1G). O processo é realizado usando bagaço de cana-de-açúcar e pré-tratamento físico através da explosão a vapor e hidrólises ácida e enzimática. A levedura utilizada para realizar o processo é capaz de fermentar as frações de pentoses e hexoses simultaneamente. No relatório anual publicado pela Raízen, referente a 2021, foi divulgada a produção de 41 milhões de litros de Etanol 2G por ano (RAÍZEN, 2020).

O etanol produzido na safra 2019/2020, passou a integrar a formulação dos itens de perfumaria de duas linhas de produtos de O Boticário e Quem disse, Berenice? Os produtos trazem na embalagem um selo que sinaliza a presença de Ecoálcool. Atualmente há um grande mercado para o combustível na Califórnia (Estados Unidos), para onde a indústria brasileira exporta quase toda a produção, além, de possuir crescente demanda no mercado europeu (RAÍZEN, 2020).

O etanol 2G ainda não apresenta um preço competitivo à tecnologia de fabricação de etanol (1G), para isso, são necessárias melhorias no processo para diminuir os custos operacionais que ainda são elevados, para assim, obter um combustível mais barato.

2.3 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

Os resíduos agrícolas e outras fontes de carboidratos de baixo valor são um biorrecurso atraente para a produção de biocombustíveis devido, principalmente a sua abundância e baixo custo (WANG et al., 2021).

A biomassa lignocelulósica é formada durante a fotossíntese e possui mais átomos de oxigênio na sua composição do que os combustíveis fósseis. A presença desse átomo faz com que a biomassa não necessite de tanto oxigênio do ar, tornando o etanol menos poluente na sua combustão, pois, a quantidade de CO₂ emitida é muito menor devido à presença de um menor teor de carbono. Além de que, o CO₂ emitido pelo etanol é reabsorvido pelas plantações de cana-de-açúcar (CGEE, 2017). É a única matéria-prima renovável que tem potencial para ser convertida em diversos combustíveis líquidos e gasosos, produtos químicos e outros múltiplos produtos de valor agregado (CHAPARRO-GARNICA et al., 2020).

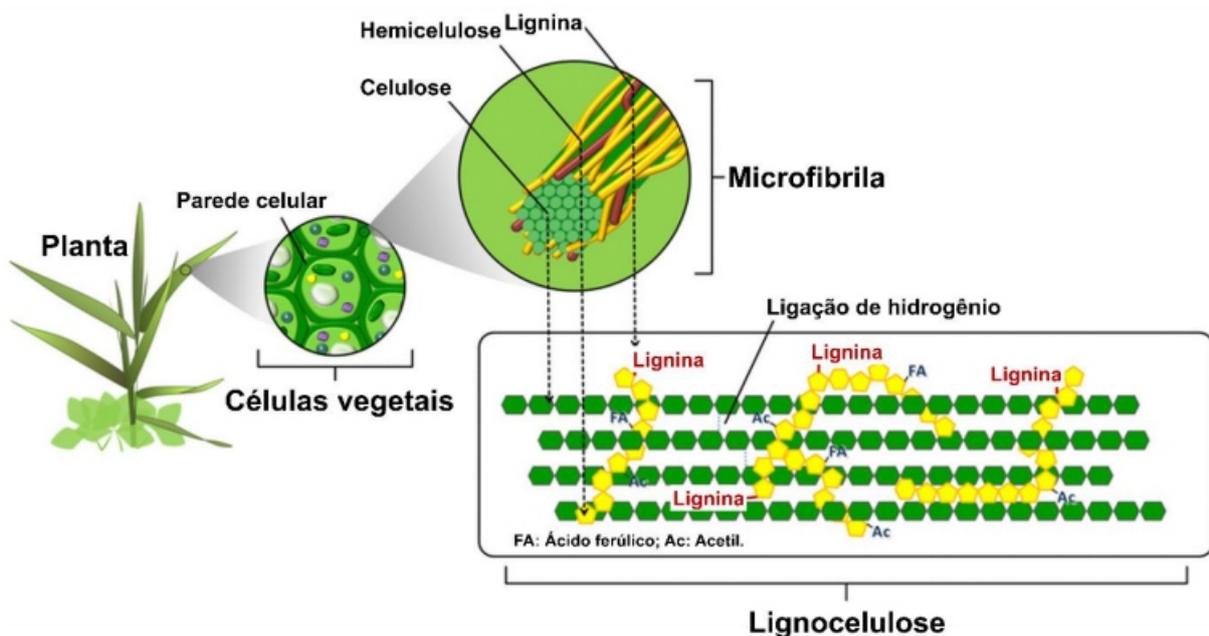
A biomassa é composta, aproximadamente, por 45% de celulose, 25% de hemicelulose, 20% lignina e o restante são macro e micro nutrientes e extrativos, como óleos, gorduras, proteínas, entre outros. A composição da biomassa depende amplamente do tipo (culturas energéticas ou resíduos agrícolas, madeira dura, madeira macia, etc.), idade, clima e distribuição geográfica (BHATIA et al., 2020).

Essas frações lignocelulósicas compõem uma estrutura rígida e complexa, formada em maior parte por celulose que está envolta por hemicelulose e lignina, o que dificulta a degradação desses materiais.

Um fracionamento dessa rede estrutural é necessário para hidrolisar a celulose e a hemicelulose principalmente em glicose e a xilose, sendo indispensável uma etapa de pré-tratamento a fim de converter esses açúcares fermentescíveis em etanol e outros bioprodutos. A celulose e a hemicelulose referem-se aos carboidratos totais da lignocelulose e representam 60-80% da parede celular (ZHOU; LIU; ZHAO, 2021).

A estrutura da parede celular de uma biomassa lignocelulósica está apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Representação da estrutura da parede celular da biomassa lignocelulósica mostrando cada um de seus blocos constituintes.

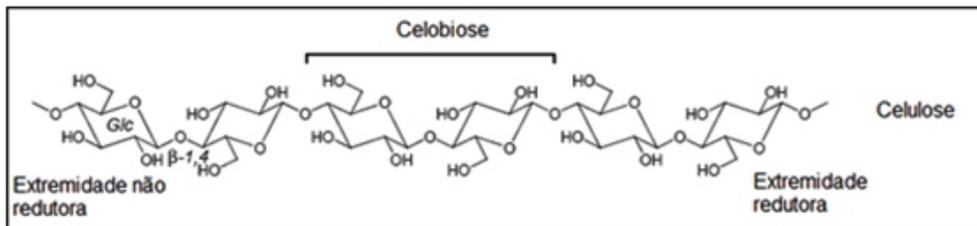


Fonte: RIBEIRO et al., 2016.

2.3.1 Celulose

A celulose é um polímero linear de glicose (açúcar C6 ou hexose) que constitui a parede celular das plantas, sendo a molécula mais abundante da natureza. Está localizada na parte central da estrutura coberta pela hemicelulose que, por sua vez, está rodeada pela lignina. A celulose é um homopolissacarídeo linear constituído de 8.000 a 14.000 unidades de glicose na conformação de D-glucopiranosas unidas por ligações glicosídicas β - (1-4) (SIVAGURUNATHAN et al., 2021). A Figura 2 mostra a representação das principais ligações entre os constituintes da celulose.

Figura 3 - Estrutura de um polímero de celulose apresentando a unidade básica de celobiose e as ligações β -(1-4) entre as glicoses.



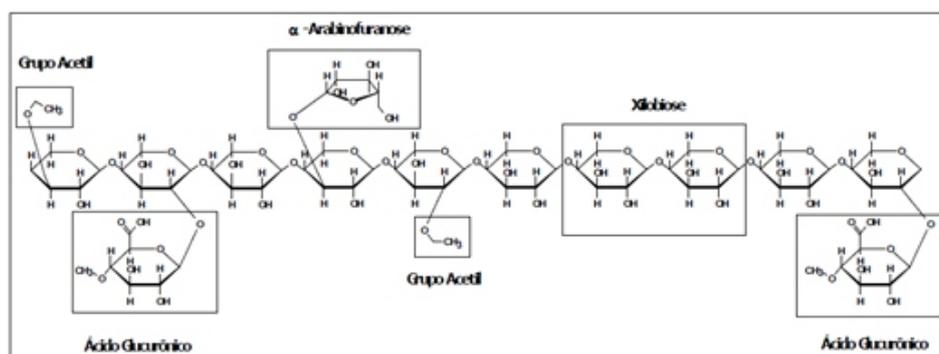
Fonte: SANDGREN et al., 2005.

As cadeias de celulose estão unidas entre si por ligações de hidrogênio intramoleculares, apresentam alta rigidez e regiões cristalinas altamente organizadas, por isso, a celulose é insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos, mas também apresentam regiões amorfas, onde as cadeias estão agrupadas de maneiras mais irregulares sendo mais suscetíveis à hidrólise (TIBOLLA et al., 2017). A celulose apresenta resistência à hidrólise devido a essas regiões cristalinas e pelas barreiras físicas criadas pela hemicelulose e pela lignina presentes nessa biomassa lignocelulósica. Essa resistência é uma das maiores dificuldades para a conversão biotecnológica da celulose em sacarídeos. Porém, sua estrutura pode ser quimicamente quebrada em glicose ao ser tratada com ácidos em alta temperatura. Quando a celulose é hidrolisada em condições brandas resulta na sua unidade básica, a celobiose (PELISSARI et al., 2014; YAHYA et al., 2018).

2.3.2 Hemicelulose

A hemicelulose é o segundo polímero mais abundante na natureza, após a celulose. A macromolécula da hemicelulose é composta principalmente por uma mistura de polissacarídeos de baixa massa molecular, em um esqueleto de unidades de D-xilopiranosose (D-xilose) unidas por ligações β -1,4 com elevado grau de ramificações, portanto, não apresentam regiões cristalinas.

Figura 4 - Estrutura de um polímero de hemicelulose representada por alguns de seus açúcares constituintes.



Fonte: MUSSATTO et al., 2010.

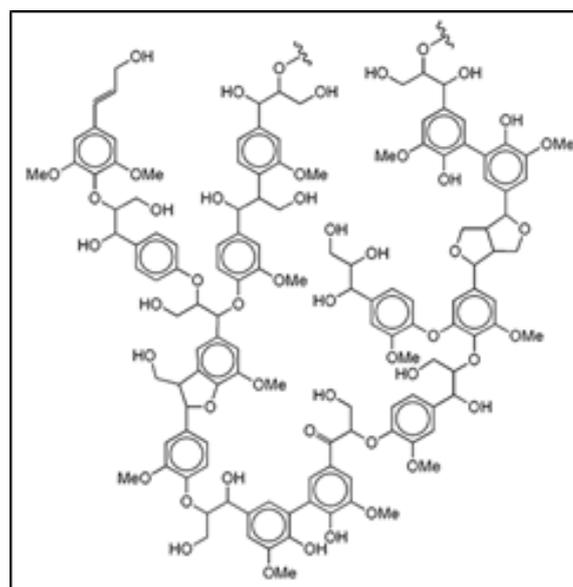
É constituída em sua maior parte por cadeias de unidades de pentoses (xilose, ramnose e arabinose) e hexoses (glicose, manose e galactose), entretanto, sua constituição varia de planta para planta. A xilana é o polissacarídeo mais abundante da estrutura hemicelulósica (LI et al., 2019).

2.3.3. Lignina

A lignina desempenha funções biológicas e estruturais críticas nas plantas. É considerada o esqueleto que confere rigidez à estrutura das paredes celulares das plantas e é encontrada em grande abundância na natureza. Apresenta hidrofobicidade suficiente que impede a permeação da água através das paredes celulares, o que garante o transporte eficiente de nutrientes e produtos da fotossíntese. É identificada como uma rede aromática, amorfa de polímero composto por de três unidades de fenilpropano (coniferil, sinapil e *p*-cumaril) unidos por ligações carbono-carbono e éter (WANG et al., 2018).

Nas plantas a lignina está ligada covalentemente com a xilana presente na hemicelulose por meio de ligações tipo éster formando uma estrutura complexa que envolve a hemicelulose e as microfibrilas da celulose durante o progresso da lignificação da planta, aumentando assim a espessura da parede celular, a força de retenção mecânica celular e a resistência à compressão. Sua estrutura tridimensional complexa é o componente mais inerte das plantas, sendo de difícil digestibilidade por microorganismos, conferindo resistência às pragas (SIVAGURUNATHAN et al., 2020). A estrutura da lignina está apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Estrutura de uma macromolécula de lignina.



Fonte: ACS, 2020.

2.4. RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS: SABUGO DE MILHO, SISAL E RESÍDUOS DE MANDIOCA

Os resíduos mais empregados nas pesquisas sobre a obtenção de etanol 2G são os provenientes da cana-de-açúcar. Entretanto, os resíduos gerados pelo milho (folhas, cascas, talos e sabugo), também utilizado para produção de etanol, e não apenas os grãos, poderiam ser utilizados como matéria-prima para a produção de etanol 2G..

Assim, há muito mais matéria-prima para produzir etanol celulósico do que obtenção de etanol comum à base de grãos, tubérculos ou da cana-de-açúcar. Esses resíduos fornecem uma matéria-prima alternativa para a produção desse biocombustível.

A Tabela 1 apresenta a composição de alguns materiais lignocelulósicos que podem ser empregados na produção de biocombustíveis.

Tabela 1 - Composição de materiais lignocelulósicos que são considerados resíduos agroindustriais.

Biomassa Lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-38	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Sabugo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Mandioca	25	7	3
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Forragem de milho	38-40	28	7-21
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45
Fibra de bananeira	60-65	5-8	5-10
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19

Fonte: Adaptado de KUMAR; SHARMA, 2017.

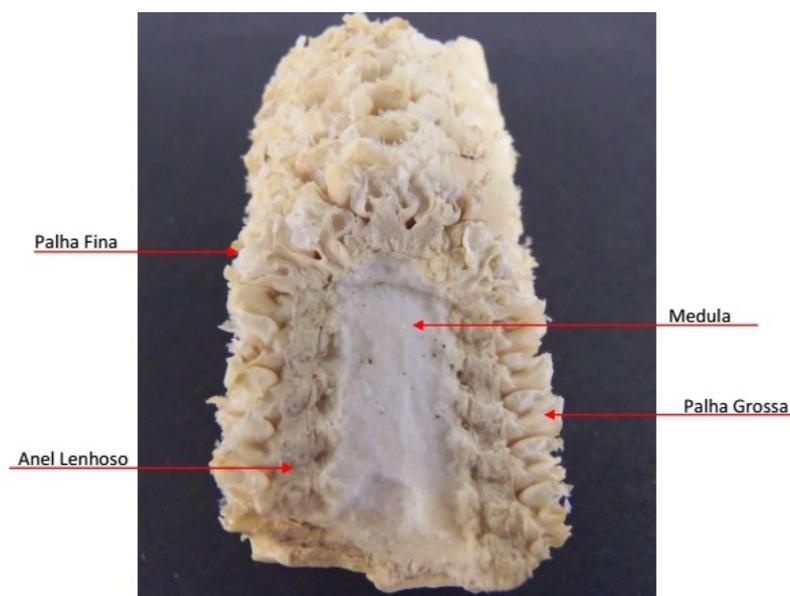
O milho (*Zea mays* L.) é originário da América Central e pertencente à família das gramíneas. Consiste numa cultura de plantio simples e colheita anual e, devido a seu valor nutritivo, rico em vitaminas, proteínas e carboidratos é utilizado principalmente para alimentação humana e animal. Pode ser cultivado em qualquer solo, clima ou altitude (ABMILHO, 2020).

O milho está entre as três espécies vegetais mais cultivadas no planeta, depois do arroz e do trigo. É empregado principalmente na indústria alimentícia. Por outro lado, partes da planta tratada como rejeitos, não apresentam utilidade nessa área, sendo subutilizadas. Desta maneira, o sabugo, o colmo (caule), as folhas e a palha, formam uma biomassa abundante e de grande produção.

De acordo com a FIESP (2022) a safra mundial de milho 2020/2021 foi de 1.117,11 milhões de toneladas. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, tendo apenas à sua frente os Estados Unidos e a China. A safra de 2020/21 foi de 86 milhões de toneladas (FIESP, 2022).

A espiga de milho é um dos subprodutos mais abundantes da indústria agrícola, após a espiga ser debulhada para a retirada dos grãos de milho o rejeito que se obtém é o sabugo, localizado na parte central das espigas, onde os grãos ficam presos. Em sua composição apresenta alto teor de celulose e hemicelulose (32,3–45,6%), baixo teor de lignina (6,7–13,9%) e 2,3% de cinzas. O sabugo do milho é formado por quatro partes distintas: palha fina, palha grossa, anel lenhoso e medula (Figura 6). A palha fina está na parte externa do sabugo e representa 4,1% de todo o seu peso. A palha grossa segue à palha fina e representa 33,7% do peso do sabugo de milho. O anel lenhoso apresenta-se no interior do sabugo com 60,3%, recobrindo a medula, que com 1,9% do peso total, é o núcleo central do sabugo (RAMOS, 2013).

Figura 6 - Corte transversal de um sabugo de milho mostrando sua estrutura e partes constituintes.



Fonte: RAMOS, 2013.

O Sisal (*Agave sisalana*) é uma planta originária do México que apresenta grande interesse ecológico e econômico, pois, se desenvolve o ano todo em climas quentes e regiões áridas (DEBNATH et al. 2010). O Sisal possui quantidades consideráveis de celulose (73,1%) e hemicelulose (14,2%), por isso, é uma matéria-prima renovável utilizada na geração de produtos de interesse industrial e com potencial para a produção de etanol celulósico, uma vez que, a partir da hidrólise liberam-se açúcares fermentescíveis (KUMAR; SHARMA, 2017).

Em 2011, a produção mundial de sisal atingiu 408.518 toneladas. Em 2017, os valores caíram para 202.223 toneladas, resultado da crise econômica global e da baixa valorização das matérias-primas comerciais (FAOSTAT, 2019).

Figura 7 - Plantação de sisal (*Agave sisalana*).



Fonte: QUEIROGA et al., 2021.

Essa planta oferece alta produtividade e baixo custo, além de, apresentar maior teor de celulose e de hemicelulose do que bagaço da cana-de-açúcar. O bagaço do sisal, que é a biomassa residual derivada da produção de fibras também apresenta altas quantidades de hemicelulose (22,91%) indicando que pode ser uma boa alternativa para a produção de biocombustíveis (MEDEIROS et al., 2020).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) uma planta originária da América do Sul também conhecida por aipim e macaxeira, é a quarta cultura alimentar mais produzida no mundo. O maior produtor mundial é a Nigéria (59,49 milhões de toneladas), seguido por República Democrática do Congo, Tailândia, Indonésia e Brasil (OTEKUNRIN; SAWICKA, 2019).

O uso industrial da mandioca, sobretudo na produção de farinha, provoca a formação de resíduos que são despejados diretamente e sem tratamento em rios e lagos poluindo estes corpos d'água. Além disso, são tóxicos e emanam fortes odores ofensivos. Ainda, a fabricação de outros derivados da mandioca gera cascas, entrecascas, raspas, pontas das raízes e farinha de varredura (manipueira). Estes resíduos poderiam ser aproveitados para produzir etanol celulósico, evitando assim a poluição e o desperdício (CORREIA et al., 2018). Os resíduos de mandioca estão compostos por 24,41% de lignina, 42,18% de hemicelulose e 20,48% de celulose (POLACHINI et al., 2020).

2.5. HIDRÓLISE DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Os componentes estruturais dos resíduos lignocelulósicos formam uma rede emaranhada e resistente difícil de ser hidrolisada. Devido a essa recalcitrância, há a necessidade de utilizar algum tipo de pré-tratamento para desestabilizar essa estrutura lignocelulósica podendo ser desestruturada ou removida para que reagentes, catalisadores e/ou enzimas tenham acesso à estrutura da celulose, que por sua vez, será fracionada liberando monossacarídeos que podem ser utilizados pelos microorganismos para a produção de etanol.

O pré-tratamento permite que a celulose fique exposta para um ataque ácido, enzimático ou microbiano. Os métodos podem ser físicos (moagem, explosão a vapor), químicos ou físico-químicos (ácido ou alcali) ou biológicos (uso de enzimas) ou também, uma combinação desses.

O pré-tratamento físico geralmente consiste na redução do tamanho de partícula do material através de meios mecânicos para aumentar a área de superfície de contato com o substrato (ZHOU; LIU; ZHAO, 2021).

Dentre essas técnicas, os métodos químicos têm sido amplamente utilizados na hidrólise dos materiais lignocelulósicos, pois, a lignina é removida sem degradar as cadeias de celulose. Porém, a lignina está fortemente ligada à hemicelulose e ocorre uma degradação parcial desta durante esse processo (BHATIA et al., 2020).

A hidrólise química pode ser realizada usando ácido, alcali, aplicação de ozônio, organo-solventes e deslignificação oxidativa. Dessas, a hidrólise ácida e a hidrólise alcalina podem ser utilizadas tanto para hidrólise como para pré-tratamento, separadamente ou em conjunto com uma hidrólise biológica, como por exemplo, a hidrólise enzimática (TANG et al., 2021; YANG et al., 2021).

2.5.1. Hidrólise Ácida

O principal objetivo da hidrólise ácida é quebrar as ligações entre as cadeias de celulose, hemicelulose e lignina, além de romper as partes cristalinas da celulose e tornar a hemicelulose e a zonas amorfas

da celulose acessíveis para o tratamento de hidrólise utilizado. É uma técnica rápida e eficiente que, além, de promover a formação de monômeros de açúcares, produz compostos aromáticos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (LORENCI WOICIECHOWSKI et al., 2020).

A metodologia da hidrólise ácida pode ser realizada com ácidos diluídos ou concentrados. Contudo, ao se utilizar ácidos concentrados há a formação de uma maior quantidade de compostos que podem ser inibidores do processo fermentativo, sendo mais cara e menos atrativa na produção de etanol (TANG et al., 2021; YANG et al., 2021).

Os ácidos diluídos não afetam a estrutura base da celulose, e na hidrólise da biomassa os ácidos degradam as ligações heterocíclicas de éter entre os monômeros das cadeias poliméricas da celulose e da hemicelulose, resultando em altos teores de xilose, além de glicose e arabinose. Dentre os ácidos mais utilizados encontram-se: ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorídrico, ácido fluorídrico, ácido acético e ácido nítrico (BHATIA et al., 2020).

A concentração mais eficaz do ácido diluído é geralmente inferior a 4,0% e o processo necessita de uma temperatura alta, como por exemplo, 180 °C, se realizado em um menor período de tempo. Temperaturas menores requerem um período de tempo maior, por exemplo, 120 °C para 30 – 90 min. (ZABED et al., 2017).

Temperaturas elevadas, 170 °C, por exemplo, podem ocasionar a degradação dos açúcares resultando na formação de furfural e hidroximetilfurfural (HMF), ou de outros compostos que prejudicam o desenvolvimento dos micro-organismos na fermentação, uma vez que, são tóxicos para as leveduras e bactérias utilizadas nesse processo. Em geral, temperaturas mais altas favorecem a deslignificação, mas temperaturas acima de 170 °C causam maior perda de sólidos e glicose (MUÑOZ-PÁEZ et al., 2019).

A desidratação de uma hexose resulta em HMF, e a hidrólise de pentoses em furfural. O HMF pode ser ainda decomposto por reidratação para produzir ácido levulínico e ácido fórmico. Esses produtos de degradação são produtos químicos importantes e têm muitas aplicações em química fina, farmacêutica, solventes, combustíveis e polímeros. No entanto, eles são identificados como inibidores de muitos micro-organismos durante a fermentação dos açúcares. Além disso, a concentração do ácido (diluído ou concentrado), o tempo e a temperatura de fermentação influenciam na formação dos compostos inibidores (ZHOU; LIU; ZHAO, 2021).

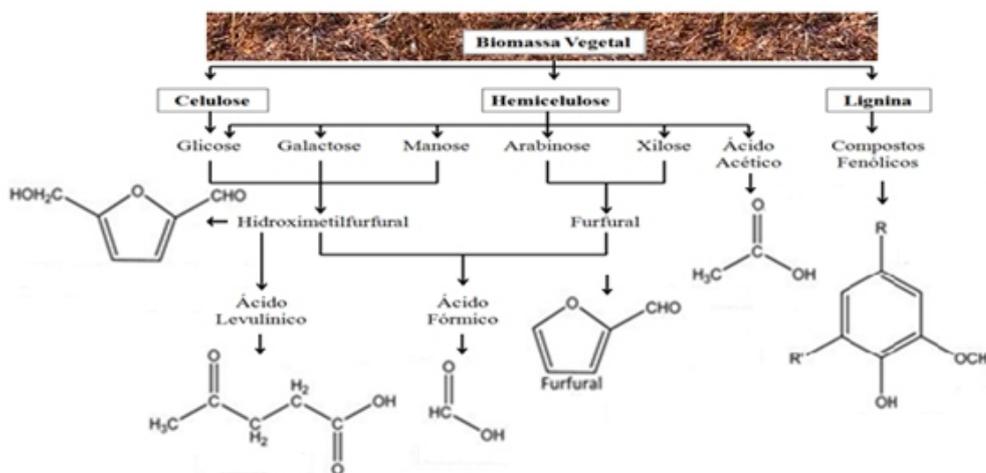
2.5.2. Compostos Inibidores

Durante o pré-tratamento ácido dos materiais lignocelulósicos, além da obtenção dos açúcares monoméricos, vários outros compostos são liberados e formados durante a liquefação da biomassa, como, ácidos carboxílicos (ácido fórmico, ácido acético e ácido levulínico) e derivados de furano (furfural e 5-hidroximetilfurfural (HMF)) (JONSSON et al., 2013).

Os micro-organismos utilizados em bioprocessos são afetados pelos subprodutos da hidrólise, os furfurais e furanos, sendo estes as principais toxinas que inibem fortemente a produção de hidrogênio em comparação com os ácidos fracos e os compostos fenólicos. O furfural e o HMF são os inibidores mais fortes do crescimento microbiano (MUÑOZ-PÁEZ et al., 2019).

Na degradação de um polímero lignocelulósico, a lignina permanecerá como um resíduo sólido, em que uma parte foi degradada em compostos fenólicos e outros compostos aromáticos. Quando em altas temperaturas e pressões os monossacarídeos (glicose, xilose, manose, galactose e arabinose), provenientes da celulose e hemicelulose, podem ser convertidos a HMF e furfural e, quando esses compostos são clivados, geram ácidos carboxílicos (HAROUN et al., 2016). A presença e concentração destes compostos variam de acordo com a biomassa, pré-tratamento e condições de hidrólise utilizadas. As principais vias de formação desses compostos inibidores estão apresentadas na Figura 8.

Figura 8 - Representação das vias de formação de subprodutos da degradação da biomassa lignocelulósica durante o tratamento ácido.



Fonte: Adaptado de JONSSON et al., 2013.

Os subprodutos furfural e HMF inibem a glicólise prolongando a fase lag e prejudicando a atividade da enzima desidrogenase, o que reduz as taxas de crescimento e rendimentos celulares. Também prejudicam a parede e as membranas celulares dos micro-organismos, consequentemente, afetam a produção de etanol e outros subprodutos. Já, o ácido acético afeta o citosol devido à queda do pH, causando, interrupção da geração de energia. Os compostos fenólicos prejudicam integridade das membranas biológicas (SINGH et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

A tolerância da levedura a inibidores derivados de lignocelulósicos não depende apenas da cepa, mas também da fonte de carbono a ser fermentada. A levedura é muito mais afetada ao fermentar a xilose do que a glicose, uma vez que, a levedura mostra uma taxa de consumo de açúcar muito mais lenta

para xilose e isso pode levar ao esgotamento dos principais metabólitos e cofatores que podem ser especialmente importantes em condições estressantes (MOYSES et al., 2016).

2.5.3. Ácidos carboxílicos

A hidrólise dos resíduos lignocelulósicos promove a formação de ácidos carboxílicos a partir da degradação de hemicelulose, tais como: ácido acético, levulínico e fórmico. O ácido acético é gerado a partir dos grupos acetila, enquanto, os ácidos levulínico e fórmico são formados como produtos de degradação dos polissacarídeos, principalmente com o uso de ácidos termoquímicos (JÖNSSON et al., 2013).

Esses ácidos são lipossolúveis e podem difundir-se através da membrana plasmática da célula reduzindo o pH intracelular e assim, dificultar a produção de energia e o transporte de nutrientes, aumentando a necessidade energética da célula. O ácido acético presente no meio de fermentação provoca queda na produtividade, no rendimento e no consumo de açúcar (JÖNSSON; MARTÍN, 2016).

Quando o pH extracelular é menor que o pKa do meio com ácido (constante de dissociação logarítmica) pode haver um estresse ácido na célula, pois, significa que há muitas formas não dissociadas do ácido, que entram na célula e causam uma acidificação intracelular, impedindo assim, o crescimento das células e a formação de subprodutos (como o etanol), o que afeta o metabolismo celular. Portanto, o pH precisa ser maior que o pKa, indicando que, fora da célula há grande quantidade de ácido dissociado, o que, não é prejudicial quando comparado com a forma não dissociada do ácido. A produção de etanol é inibida a um pH igual ou menor do que o pKa 4,8 do ácido acético (NUGROHO, et al., 2015).

5.5.4. Derivados de furanos

Os aldeídos aromáticos geralmente originados de materiais lignocelulósicos são aldeídos derivados de furanos, o furfural e o HMF, a partir da degradação de pentoses e hexoses, respectivamente, por um processo de hidrólise que utilize calor. Esses compostos inibem a atividade enzimática, pois, rompem o DNA e impedem a síntese de RNA e de proteínas dos micro-organismos, afetando a geração de subprodutos como o etanol (JÖNSSON et al., 2013).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* em condições anaeróbias é capaz de converter o furfural em álcool furfurílico e o HMF em 2,5-bis-hidroximetilfurano (PALMQVIST et al., 1999). Segundo o estudo de Wang et al. (2013) a *S. cerevisiae* pode degradar rapidamente o furfural e HMF, resultando em um aumento da produtividade de etanol e na taxa de consumo de glicose (WANG et al., 2013).

2.5.5. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são formados durante a hidrólise da lignina. Alguns exemplos são: seringaldeído, ácido 4-hidroxibenzaldeído e 4-hidroxibenzóico e os ácidos: salicílico, vanílico, siríngico, gentísico, entre outros (WANG et al., 2017).

Esses compostos podem reagir com moléculas biológicas da célula (lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos) ou provocar danos à membrana celular, gerando perda da seletividade, e ainda inibem as enzimas glicolíticas e fermentativas no processo de fermentação alcoólica. Portanto, esses compostos causam efeitos negativos na fermentação por meio da diminuição da taxa específica de crescimento do micro-organismo e da redução da produtividade de etanol (BHATIA et al., 2020).

O processo de fermentação pode ser melhorado se os inibidores presentes forem eliminados. A formação de inibidores pode diminuir a otimização do pré-tratamento e da hidrólise. Existem diferentes processos de desintoxicação para a remoção eficiente de inibidores antes submeter os hidrolisados à fermentação (SANTANA et al., 2022). Portanto, a desintoxicação tem grande importância no processo de produção de etanol 2G.

2.6 DESINTOXICAÇÃO

Os métodos para desintoxicação do hidrolisado variam de acordo com o tipo de inibidor presente. Existe uma variedade de métodos químicos, biológicos e físicos que podem ser empregados para remover compostos tóxicos de hidrólises ou transformá-los em compostos não tóxicos. Entre os mais conhecidos (Tabela 2) encontram-se: mudanças de pH com óxido de cálcio, hidróxido de cálcio (overliming) e hidróxido de amônio; uso de carvão ativado, colunas de troca iônica, precipitação, extração com solventes orgânicos, evaporação, peneiras moleculares e até aplicação de enzimas (ZHANG et al., 2018).

As pesquisas comparando esses métodos informam que eles diferem significativamente em relação aos efeitos sobre a química do hidrolisado e sobre a fermentação, e também mostram que um dos métodos mais eficientes é o overliming, devido à precipitação eficiente das substâncias tóxicas, que, em muitos casos, se apresenta como o método mais econômico (JÖNSSON et al., 2013). Entretanto, um dos processos de desintoxicação que apresenta vantagens em sua utilização para hidrolisados ácidos é o uso do procedimento químico com adição de carvão ativado (BHATIA et al., 2020).

O carvão ativado é um material poroso de origem vegetal, cujo tratamento é baseado na elevada capacidade que esse material tem de adsorver diferentes tipos de moléculas que ficam presas em sua superfície devido a interações físicas fracas chamadas de Van der Waals (KIM et al., 2013).

Tabela 2 - Métodos que podem ser utilizados na desintoxicação de hidrolisados lignocelulósicos.

Técnica	Procedimento
Aditivos químicos	Alcalino (como Ca(OH) ₂ , NaOH, NH ₄ OH) Agentes redutores (tais como ditionito, ditioneitol, sulfito)
Tratamento enzimático	Lacase Peroxidase
Aquecimento e vaporização	Evaporação Tratamento de calor
Extração líquido-líquido	Acetato de etila Extração com fluido supercrítico (exemplo CO ₂ supercrítico)
Extração líquido-sólido	Carvão ativo Troca iônica <i>Coniochaeta ligniaria</i>
Tratamento microbiano	<i>Trichoderma reesei</i> <i>Ureibacillus thermosphaericus</i>

Fonte: Adaptado de JÖNSSON et al. (2013).

Mesmo que os métodos de desintoxicação possam remover de forma eficiente os compostos tóxicos, é importante ressaltar que poderá ocorrer uma redução substancial da concentração de açúcar, aumentar os custos e gerar resíduos, o que pode tornar essa etapa adicional economicamente indesejável (ZHANG et al., 2018).

Os métodos biológicos ou os físico-químicos são abordagens essenciais para reduzir a concentração de compostos inibidores de fermentação para a máxima utilização dos açúcares fermentescíveis pela cepa microbiana utilizada (ARUMUGAM; ANANDAKUMAR, 2016).

2.6. MICRO-ORGANISMOS PRODUTORES DE ETANOL

A fermentação alcoólica pode ser realizada por bactérias ou leveduras que metabolizam e convertem açúcares como glicose, frutose, manose, xilose e arabinose em etanol. Os micro-organismos mais utilizados para a obtenção de etanol são as leveduras: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida* sp., *Pichia* sp., *Schizosaccharomyces* sp., *Kluyveromyces* sp. e *Pachysolen* sp.; fungos filamentosos: *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Monilia* sp. e *Paecilomyces* sp.; e bactérias: *Clostridium* sp., *Bacillus* sp., *Thermoanaerobacter* sp., *Klebsiella* sp. e *Zymomonas mobilis* (ERNANDES; GARCIA-CRUZ, 2009).

A *Saccharomyces cerevisiae* é a levedura mais utilizada no mundo para a produção de etanol em escala industrial e em uma série de outros processos biotecnológicos, como, na fabricação de pão e bebidas alcoólicas, como cerveja e vinho, pois, ela oferece rápido desenvolvimento e alta eficiência fermentativa (TOOGOOD; SCRUTTON, 2018). Suas colônias são esféricas e as cores variam entre o branco e o creme com estruturas convexas e lisas (MARTIN; ARKOWITZ, 2014).

Essa levedura codifica a enzima invertase, que é a responsável pela hidrólise da sacarose em frutose e glicose. Desta forma, a glicose segue a via da fermentação alcoólica, que ocorre em anaerobiose, passando por várias reações específicas até ser convertida em etanol. A *S. cerevisiae* é mesofílica com tolerância a grandes variações de temperatura, seu crescimento ótimo está entre 30 e 35 °C. Além de alta produção, apresenta resistência a altas concentrações do etanol presente no meio de cultura, tolera baixos valores de pH, suportando meios acidificados, tolera a presença de oxigênio, bem como, altas concentrações de açúcares e é insensível à infecção por bacteriófagos, o que é particularmente relevante em grandes processos industriais (MENDES, et al., 2016; RUCHALA et al., 2020).

Mesmo contando com todos esses atributos, essa levedura não fermenta facilmente as pentoses, apenas consegue metabolizar lentamente o ceto-isômero da xilose, a xilulose. A *S. cerevisiae* possui 18 transportadores de hexose capazes de introduzir a glicose para dentro da célula. Estes transportadores são divididos de acordo com sua afinidade pela glicose em três tipos: alta, intermediária e baixa. Os transportadores são flexíveis quanto à xilose, captando essa pentose com afinidade 200 vezes menor em taxa mais lenta, dependendo da concentração de xilose e glicose fora da célula. Os transportadores de alta e média afinidade parecem ser os principais transportadores responsáveis pela captação de xilose quando esta é a única fonte de carbono disponível ou quando a glicose atinge níveis baixos de concentração (SEDLAK; HO, 2004).

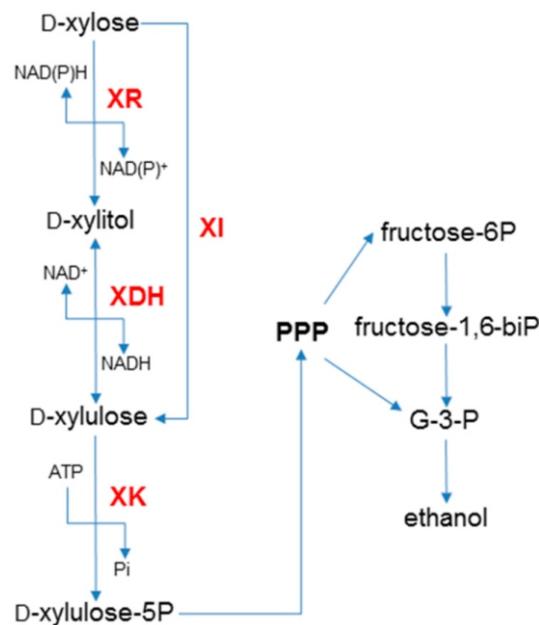
A hidrólise dos materiais lignocelulósicos proporciona até 35% D-xilose proveniente da hemicelulose. Em geral, as leveduras convertem a xilose à xilulose em uma reação de duas etapas mediada por oxido-redutases. Na primeira, a xilose é reduzida a xilitol por uma xilose redutase (XR) ligada a NADPH/NADH, seguida de oxidação de xilitol em xilulose por uma xilitol-desidrogenase (XDH) ligada a NAD (VAN AALST et al. 2022). Na segunda etapa a xilulose é fosforilada pela xilulo-quinase para formar xilulose-5-fosfato, que é canalizado para a via das pentoses-fosfato (LI et al., 2019). A sequência de estas transformações está apresentada na próxima página, na Figura 9.

As limitações para utilização de xilose pela célula de *S. cerevisiae* são muito provavelmente causadas por uma capacidade insuficiente da via não-oxidativa das pentoses-fosfato, como indicado pelo acúmulo de sedo-heptulose-7-fosfato e ausência de acúmulo de frutose-1,6-bifosfato e piruvato (KOTTER et al., 1993). Por esse motivo, são desenvolvidas pesquisas para obtenção de cepas geneticamente modificadas *S. cerevisiae* capazes de produzir etanol a partir de xilose (ZHANG et al., 2016).

A pesar disso e mesmo que a levedura não converta pentoses, ela é considerada vantajosa para a produção de etanol a partir de resíduos lignocelulósicos. Isso se deve essencialmente à tolerância da *S. cerevisiae* aos compostos tóxicos formados durante a fermentação, que podem causar inibição microbiana, e à capacidade de suportar concentrações mais elevadas de etanol. Enquanto, as

leveduras fermentativas não conseguem mais se desenvolver a partir de 6,0% (v/v), a *S. cerevisiae* cresce em concentrações de etanol de 17,0% (v/v) ou superiores (SANTOS et al., 2010). Na Figura 9 estão resumidos os parâmetros de tolerância que podem ser encontrados no meio de fermentação que essa levedura pode suportar.

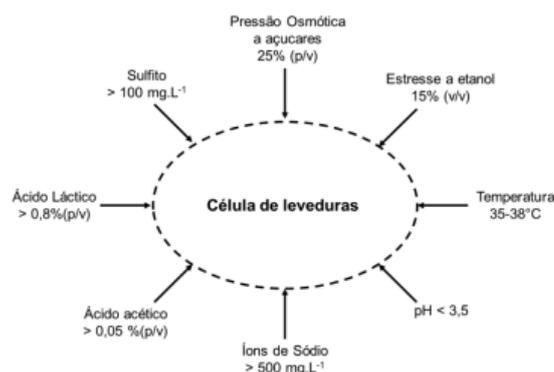
Figura 9 – Esquema da via de conversão da xilose em etanol.



Fonte: Adaptado de SANTOS et al., 2010.

Outras leveduras e alguns micro-organismos apresentam a capacidade de assimilar pentoses. Entre as leveduras que tenham capacidade utilizar xilose encontram-se: *Scheffersomyces (Pichia) striptis*, *Pachysolen tannophilus* e *Candida shehatae*, porém, elas apresentam baixa tolerância aos inibidores e baixo rendimento na produção de etanol (AGBOGBO; COWARD-KELLY, 2008; TIAN et al., 2009).

Figura 10 - Efeitos dos parâmetros encontrados no meio de fermentação sobre a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.



Fonte: BAI et al., 2008.

A levedura *Pachysolen tannophilus* foi a primeira levedura identificada com capacidade natural de conversão da xilose a etanol. Além da xilose, a levedura *P. tannophilus* é capaz de crescer e fermentar meios contendo outros substratos como a glicose, arabinose, manose e galactose (SLININGER; BOLEN; KURTZMAN, 1987). Esta levedura tem a vantagem de converter o substrato a etanol em condição aeróbica e é termorresistente, possibilitando trabalhar com temperaturas até 37°C (BRAVO et al, 1995). Além dos açúcares citados, *P. tannophilus* tem, também, a capacidade natural de converter glicerol a etanol (STEPANOV, EFREMENKO, 2017).

A produção de etanol foi avaliada em processo de fermentação contínuo e em batelada usando a palha de trigo para obtenção dos açúcares fermentescíveis obtendo uma eficiência de 63,4 e 58,8%, respectivamente (KAUR 1989). Outro estudo realizado por Zhao, Zhang e Tan (2008) utilizaram glicose e xilose adicionadas ao meio fermentativo e observaram que na presença de glicose a levedura produziu etanol mais rapidamente e em maior concentração. A xilose começou a ser assimilada pela levedura após a glicose ser consumida completamente. Portanto, esta levedura pode ser utilizada para fermentar hidrolisados obtidos da biomassa lignocelulósica (ZHAO; ZHANG; TAN, 2008).

Uma técnica que pode ser utilizada para o aproveitamento total dos açúcares presentes no meio hidrolisado obtido dos resíduos lignocelulósicos é a utilização de dois micro-organismos simultânea ou separadamente no mesmo processo, o que é chamado de co-cultura, culturas mistas, co-fermentação ou consórcio, desde que haja ação sinérgica das vias metabólicas entre as cepas (SEDLAK; HO, 2004; JIANG et al., 2019). Portanto, empregar co-culturas na produção de etanol, combinando uma levedura fermentadora de pentoses e outra de hexoses para o aproveitamento dos açúcares obtidos na hidrólise dos materiais lignocelulósicos seria um processo mais económico do que a modificação genética de microorganismos (DA CUNHA PEREIRA et al., 2011).

Este tipo de fermentação pode ser realizado em um único biorreator, conseqüentemente gera menores custos operacionais e, também apresenta menos problemas que causam inibição pelo substrato, tendo em vista que os açúcares fermentáveis são consumidos pelo consórcio durante a produção de etanol (TRAKARNPAIBOON et al., 2017).

REFERÊNCIAS

ABMILHO – Associação Brasileira das Indústrias do Milho. 2020. Disponível em: <<http://www.abmilho.com.br/>> Acesso em: 12 ago 2020.

ACS – American Chemical Society. Lignin Structure. 2020. Disponível em: <<https://www.acs.org/content/acs/en.html>> Acesso em: 06 ago 2020.

AGBOGBO, F. K.; COWARD-KELLY, G. Cellulosic ethanol production using the naturally occurring xylose-fermenting yeasts, *Pichia stipites*. *Biotechnol Lett*, v. 30, n. 9, p. 1515. 2008.

ARUMUGAM, N.; ANANDAKUMAR, S. Mini review on Corncob biomass: A potential resource for value-added metabolites. *European Journal of Experimental Biology*. 6(5): 9-13 2016.

BAI, F. W.; ANDERSON, W. A.; MOO-YOUNG, M. Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnology Advances* 26, v. 26, p. 89–105, 2008.

BHATIA, S. K. et al. Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: Effect of key parameters, technological improvements, and challenges. *Bioresource Technology*, v. 300, p. 122724. 2020.

BRAVO, V.; CAMACHO, F.; SÁNCHEZ, S.; CASTRO, E. Influence of the concentrations of D-xylose and yeast extract on ethanol production by *Pachysolen tannophilus*. *J. of Fermentation and Bioengineering*. v. 79, p. 566-571, 1995.

CGEE. Second-generation sugarcane bioenergy e biochemicals: Advanced low-carbon fuels for transport and industry. Brasília: Center for Strategic Studies and Management, 2017.

CHAPARRO-GARNICA, J. et al. Biomass waste conversion into low-cost carbon-based materials for supercapacitors: a sustainable approach for the energy scenario. *J. Electroanal. Chem.*, p. 880. 2021. DOI: 10.1016/j.jelechem.2020.114899

CORREIA, Igor A.; SCANDELAI, Ana Paula J.; SILVA, Nadine C. B.; SOUZA, Alexandre T. de S. Caracterização da manipueira e possibilidades de tratamento. *Colloquium Exactarum*, v. 10, p. 180-185, 2018.

DA CUNHA-PEREIRA, L. R.; HICKERT, N. T.; SENHEM, C. A. ROSA, P. B. SOUZA-CRUZ, M. A. Z. Ayub, Conversion of sugars present in Rice hull hydrolysates into ethanol by *Spathaspora arborariae*, *Saccharomyces cerevisiae*, and their co-fermentations. *Bioresource Technol.* 102. 2011. 4218-4225.

DEBNATH M, PANDEY M, SHARMA R, THAKUR GS, LAL P. Intervenção biotecnológica da Agave sisalana: uma planta única de produção de fibras com propriedade medicinal. *J Med Plants Res*, v. 43, p. 177-187. 2010.

EPA – Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases. 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>>

ERNANDES, F. M. P. G.; GARCIA-CRUZ, C. H. Análise dos parâmetros cinéticos para produção de levana por *Zymomonas mobilis* utilizando fermentação submersa. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 35-41, 2009.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Market and Policy Analysis of Raw Materials, Horticulture and Tropical (RAMHOT) Products Team Trade and Markets Division. 2019.

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Safra Mundial de Milho. 2022. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2>> Acesso em: 10 nov. 2022.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e perspectivas no uso de biomassa para a geração de energia. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 15-28, 2017.

GRANBIO. Produção de Etanol 2G. Alagoas, Brasil. 2020. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/>> Acesso em: 09 out. 2020.

GRANBIO. Produção de Etanol 2G. Alagoas, Brasil. 2020. Disponível em: <<http://www.granbio.com.br/>> Acesso em: 09 out. 2020.

HAROUN, B. M.; NAKHLA, G.; HAFEZ, H.; NASR, F. A. Impact of furfural on biohydrogen production from glucose and xylose in continuous-flow systems. *Renew. Energy*, n. 93, p. 302-311. 2016.

JIANG, Y.; WU, R.; ZHOU, J. et al. Recent advances of biofuels and biochemicals production from sustainable resources using co-cultivation systems. *Biotechnol Biofuels*, v. 12, p. 155. 2019. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1495-7>

JÖNSSON, L. et al. Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification. *Biotechnology for Biofuels*, v. 6, n. 1, p. 1-16, 2013.

JÖNSSON, L. MARTÍN, C. Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresource Technology*, v. 199, p. 103-112. 2016.

KAUR, H. R. P. Fermentation of wheat straw hydrolyzate to ethanol by *Pachysolen tannophilus*: a comparison of batch and continuous culture systems. *Biological Wastes*. v. 30, p. 301-308, 1989

KIM, S. R.; PARK, Y. C.; JIN, Y. S.; SEO, J. H. Strain engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced xylose metabolism. *Biotechnology Advances*, v.31, p.851-861, 2013.

KÖTTER, P.; CIRIACY, M. Xylose fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 38, n. 6, p. 776-783. 1993. DOI: 10.1007/BF00167144

KUMAR, A. K.; SHARMA, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. *Bioresour. Bioprocess*, v.4, n.7, 2017.

- LI, X.; CHEN, Y.; NIELSEN, J. Harnessing xylose pathways for biofuels production. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 57, p. 56-65. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.01.006>
- LI, X.; XU, R.; YANG, J.; NIE, S.; LIU, D.; LIU, Y.; SI, C. Production of 5 hydroxymethylfurfural and levulinic acid from lignocellulosic biomass and catalytic upgradation. *Industrial Crops & Products*, 2019, v. 130, p. 184–197.
- LORENCI WOICIECHOWSKI, A. et al. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance – Conventional processing and recent advances. *Bioresource Technology*. v. 304. 2020.
- MARTÍN, S. G.; ARKOWITZ, R. A. Cell polarization in budding and fission yeasts. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 38, n. 2, p. 228-253. 2014.
- MEDEIROS, L. L. et al. Structural-chemical characterization and potential of sisal bagasse for the production of polyols of industrial interest. *Braz. Jour. Chem. Eng.* 37, 451-461. 2020.
- MENDES, C. V. et al. Integrated bioconversion of pulp and paper primary sludge to second generation bioethanol using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 26602. *Bioresource Technology*, v. 220, n. 1, p. 161-167, 2016.
- MOYSÉS, D. N.; REIS, V. C. B.; ALMEIDA, J. R. M. D.; MORAES, L. M. P. D.; TORRES, F. A. G. Xylose Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*: Challenges and Prospects. *Int. J. Mol. Sci.*, v. 17, n. 207. 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms17030207>
- MUÑOZ-PÁEZ et al. Distinct effects of furfural, hydroxymethylfurfural and its mixtures on dark fermentation hydrogen production and microbial structure of a mixed culture. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 44, n. 4, p. 2289-2297, 2019.
- MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; GUIMARÃES, P. M. R.; SILVA, J. P. A.; CARNEIRO, L. M.; ROBERTO, I. C.; VICENTE, A.; DOMINGUES, L.; TEIXEIRA, J. A. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production-R1. *Biotechnology advances*, v. 28, n. 6, p. 817-830, 2010.
- NGUYEN et al. A new approach for concurrently improving performance of South Korean food waste valorization and renewable energy recovery via dry anaerobic digestion under mesophilic and thermophilic conditions. *Wast Management*, v. 66, 161-168. 2017.
- NUGROHO, R. H.; YOSHIKAWA, K.; SHIMIZU, H. Metabolomic analysis of acid stress response in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Biosci Bioeng*, v. 120, n. 4, p. 396-404, 2015.
- OLIVEIRA, R. A. et al. Detoxification of sugarcane-derived hemicellulosic hydrolysate using a lactic acid producing strain. *J. of Biotechnology*. v. 278, p. 56. 2018.
- OTEKUNRIN, O. A., & SAWICKA, B. Cassava, A 21 st Century Staple Crop: How can Nigeria Harness its Enormous Trade Potentials? *Acta Scientific Agriculture*, 3(8), 194–202. (2019).

PALMQVIST, E.; ALMEIDA, J.; HAHN-HÄGERDAL, B. Influence of furfural on anaerobic glycolytic kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* in batch culture. *Biotechnol. Bioeng.*, v. 62, n. 4, p. 447-454, 1999.

PELISSARI, F. M.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from banana peels. *Cellulose*, n. 21, p. 417. 2014.

POLACHINI, T. C. et al. Composição química de biomassa lignocelulósica de bagaço de mandioca e de casca de mandioca: influência da distribuição do tamanho de partícula. *Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química*. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2020, v. 1, p. 196-208.

QUEIROGA, V. P. et al. *Sisal (Agave sisalana, Perrine); Tecnologias de plantio e utilização*. Campina Grande: AREPB, p. 2017. 2021.

RAÍZEN. Relatório anual 2017/2018. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/sustentabilidade/transparencia#relatorio-anual>> Acesso em: 18 de jun. de 2020.

RAÍZEN. Relatório anual 2018/2019. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br>> Acesso em: 06 de out. de 2020.

RAMOS, R. R. F. Desenvolvimento de compósitos de polipropileno (PP) com sabugo de milho (SM) provenientes de resíduos agrícolas. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba, 2013.

RFA – Renewable Fuels Association. Ethanol. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/about>> Acesso em: 20 set. 2020.

RIBEIRO, G. O.; GRUNINGER, R. J.; BADHAN, A.; McALLISTER, T. A. Mining the rumen for fibrolytic feed enzymes. *Animal Frontiers*, v. 6, n. 2, p. 20-26, 2016.

RUCHALA, J. et al. Construction of advanced producers of first- and second-generation ethanol in *Saccharomyces cerevisiae* and selected species of non-conventional yeasts (*Scheffersomyces stipitis*, *Ogataea polymorpha*), *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 47, n. 1, p. 109–132. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10295-019-02242-x>

SANDGREN, M.; STAHLBERG, J.; MITCHINSON, C. Structural and biochemical studies of GH family 12 cellulases: improved thermal stability, and ligand complexes. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Elmsford, v. 89, n. 3, p. 246-291, 2005.

SANTANA, J. C.; DA SILVA, A. C. M.; ABUD, A. K.; WISNIEWSKI JR, A.; ROMAO, L. P. C. Pretreatment and enzymatic saccharification of water hyacinth, sugarcane bagasse, maize straw, and green coconut shell using an Organosolv method with glycerol and FeCl₃. *J. Braz. Chem. Soc.* 2022. DOI: 10.21577/0103-5053.20220032.

SANTOS, J. R. A. et al. Comparação entre processos em SHF e em SSF de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol por *Saccharomyces cerevisiae*. *Química Nova*, v. 33, n. 4. 2010.

SEDLAK, M.; HO, N. W. Characterization of the effectiveness of hexose transporters for transporting xylose during glucose and xylose co-fermentation by a recombinant *Saccharomyces* yeast. *Yeast*, v. 21, p. 671–684. 2004.

SINGH, B. et al. A biotechnological approach for degradation of inhibitory compounds present in lignocellulosic biomass hydrolysate liquor using *Bordetella* sp. BTIITR. *Chem. Eng. J.* v. 328. 2017.

SLININGER, P. J.; BOLEN, P. L.; KURTZMAN, C. P. *Pachysolen tannophilus*: properties and process considerations for ethanol production from D-xylose. *Enzyme and Microbial Technology*. v. 9, p. 5-15, 1987.

SIVAGURUNATHAN, P. et al. 2G waste lignin to fuel and high value-added chemicals: Approaches, challenges and future outlook for sustainable development. *Chemosphere*, v. 268, p. 129326. 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.129326

STEPANOV, N.; EFREMENKO, E. Immobilised cells of *Pachysolen tannophilus* yeast for ethanol production from crude glycerol. *New Biotechnology*, v. 34, p. 54. 2017.

TANG, W. Natural surfactant-aided dilute sulfuric acid pretreatment of waste wheat straw to enhance enzymatic hydrolysis efficiency. *Bioresource Technology*, v. 324, p. 124651. 2021. 10.1016/j.biortech.2020.124651

TIAN, S.; ZHOU, G.; YAH, F.; YU, Y.; YANGO, X. Yeast strains for ethanol production from lignocellulosic hydrolysates during in situ detoxification. *Biotechnology Advances*. 27, 656-60. 2009.

TIBOLLA, H.; PELISSARI, F. M.; RODRIGUES, M. I.; MENEGALLIA, F. C.; Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical treatments: characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*. v. 75, n. 192. 2017.

TOOGOOD, H. S.; SCRUTTON, N. S. Discovery, characterization, engineering, and applications of ene-reductases for industrial biocatalysis. *ACS Catal.* 2018. DOI: 10.1021/acscatal.8b00624

TRAKARNPAIBOON, S.; SRISUK, N.; PIYACHOMKWAN, K.; YANG, S.; KITPREECHAVANICH, V. L-lactic acid production from liquefied cassava starch by thermotolerant *Rhizopus microsporus*: characterization and optimization. *Process Biochem.*, v. 63, p. 26-34. 2017. 10.1016/j.procbio.2017.08.019

VALLEJOS, M. E.; KRUYENISKI, J.; AREA, M. C. Second-generation bioethanol from industrial wood waste of South American species. *Biofuel Research J.* 15:654-667. 2017.

WANG, G. et al. One-pot lignin depolymerization and activation by solid acid catalytic phenolation for lightweight phenolic foam preparation. *Industrial Crops and Products*, v. 124, n. 15, p. 216-225. 2018.

WANG, X. et al. Metabolomic analysis reveals key metabolites related to the rapid adaptation of *Saccharomyces cerevisiae* to multiple inhibitors of furfural, acetic acid, and phenol. *OMICS*, v. 17, n. 3, p. 150-159, 2013.

WANG, X., TSANG, Y.F., LI, Y., MA, X., CUI, S., ZHANG, T.-A.A., HU, J., GAO, M.-T.T. Inhibitory effects of phenolic compounds of rice straw formed by saccharification during ethanol fermentation by *Pichia stipitis*. *Bioresource Technology*, v. 244, n 1, 1059-1067. 2017.

YAHYA, M.; CHEN Y. W.; LEE, H. V.; HASSAN, W. H. W. Reuse of Selected Lignocellulosic and Processed Biomasses as Sustainable Sources for the Fabrication of Nanocellulose via Ni(II)-Catalyzed Hydrolysis Approach: A Comparative Study. *J. of Polymers and the Environment*, n. 26, p. 285. 2018.

YANG, Y. et al. Features correlated to improved enzymatic digestibility of corn stover subjected to alkaline hydrogen peroxide pretreatment. *Bioresource. Technology*, v. 325, p. 124688. 2021. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.124688

ZABED, H. et al. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, 475-501. 2017.

ZHANG, M. et al. Biorefinery approach for cassava-based industrial wastes: Current status and opportunities. *Bioresource Technology*, v. 215, n. 1, p. 50-62, 2016.

ZHANG, Y.; XIA, C.; LU, M.; TU, M.; Effect of overliming and activated carbon detoxification on inhibitors removal and butanol fermentation of poplar prehydrolysates. *Biotechnology for Biofuels*, v. 11, n. 178. 2018. DOI:10.1186/s13068-018-1182-0

ZHAO, L.; ZHANG, X.; TAN, T. Influence of various glucose/xylose mixtures on ethanol production by *Pachysolen tannophilus*. *Biomass and Bioenergy*. v. 32, p. 1156-1161, 2008.

ZHOU, Z.; LIU, D.; ZHAO, X. Conversion of lignocellulose to biofuels and chemicals via sugar platform: An updated review on chemistry and mechanisms of acid hydrolysis of lignocelluloses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 146. 2021.

PRODUÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS A BASE DE CELULOSE COMO PRINCIPAL ALTERNATIVA NA SUBSTITUIÇÃO DO PLÁSTICO: REVISÃO

Maria Eduarda Sério
Universidade Estadual de Maringá
mariaaserio@hotmail.com

Bianca Pazinato
Universidade Estadual de Maringá
biancapazinato@hotmail.com

Carmen Torres Guedes
Universidade Estadual de Maringá
ctorresguedes@gmail.com

Marina Melliny Guimarães de Freitas
Universidade Estadual de Maringá
marinamav3gmail.com

Jaqueline Ferreira Silva
Universidade Estadual de Maringá
jaquelinesferreirasilva@gmail.com

Jaqueline Gilmara Barboza Januário
Universidade Estadual de Maringá
jaquelinebj4@gmail.com

Mônica Regina da Silva Scapim
Universidade Estadual de Maringá
mrscapim@uem.br

Nathalia Gouveia Botan
Universidade Estadual de Maringá
nahibotan@gmail.com

RESUMO

Materiais oriundos de petróleo são predominantes na produção de embalagens para alimentos, entretanto, o aumento frequente do consumo de plásticos à base de petróleo tem causado impacto negativo ao meio ambiente, além de ser obtido de uma matéria-prima não renovável. Assim, filmes biodegradáveis obtidos a partir de materiais naturais vêm sendo desenvolvidos para substituírem embalagens plásticas como alternativa para minimizar esses problemas. Os filmes biodegradáveis são produzidos por materiais renováveis e seguros. Entre eles, a celulose apresenta grande potencial nesta substituição pois é um polímero renovável, biodegradável, encontrado abundantemente na natureza, além do bom desempenho mecânico. O presente trabalho teve como objetivo fazer uma abordagem sobre a utilização de celulose como alternativa na substituição do plástico, realizando uma revisão bibliográfica do seu potencial na produção de filmes biodegradáveis. A revisão sistemática foi realizada em junho de 2023 na plataforma eletrônica Science Direct

de artigos científicos que utilizaram celulose como substituição sustentável de materiais provenientes do petróleo na produção de embalagens biodegradáveis. Os artigos considerados para este estudo foram publicados entre 2020 e 2023, nesta busca foram utilizados os seguintes termos: “cellulose”, “biodegradable packaging”. A produção de embalagens a partir de celulose é viável e pode ser uma alternativa ao uso de plásticos convencionais. Mas as avaliações das propriedades mecânicas e de permeabilidade ao vapor de água comprovaram que a partir da celulose o material obtido é rígido e higroscópico, ou seja, o seu uso isolado é limitado, sendo necessário a realização de modificações ou mistura a outros materiais que não comprometam a sustentabilidade

Palavras-chave:

Polímeros sustentáveis; Embalagens; Impacto ambiental; Biopolímeros; Resíduos agroindustriais.

INTRODUÇÃO



embalagem exerce um papel importante na indústria de alimentos, pois tem como objetivo preservar as características e qualidade do produto final, principalmente no que diz respeito à segurança durante o armazenamento e transporte (CZAJA-JAGIELSKA, 2020). Materiais oriundos de petróleo são predominantes na produção de embalagens para alimentos, pois oferecem propriedades físicas desejáveis, facilidade de processamento e baixo custo (GUZMAN-PUYO et al., 2022).

De fato, o mercado global de filmes plásticos em 2022, foi avaliado em US\$127,74 bilhões e estima-se uma taxa de crescimento de 5,5% até 2030, além da participação de 83% na receita global (GRAND VIEW RESEARCH, 2023).

Entretanto, o aumento frequente do consumo de plásticos à base de petróleo causa impacto negativo ao meio ambiente, pois apresenta grande resistência à degradação, acumulando no meio ambiente e liberando micropartículas que já têm sido encontradas até em músculos de peixes. Desta forma, filmes e revestimentos biodegradáveis a partir de materiais naturais e renováveis vêm sendo desenvolvidos na tentativa de substituírem embalagens plásticas, como alternativa para minimizar esses problemas (FARHCHI et al., 2019; MALMIR et al., 2017; HIDAYATI, 2021).

A tecnologia de embalagens vem de encontro a esta demanda crescente, para desenvolver produtos biodegradáveis que exerçam as mesmas funções que os materiais tradicionais (JIN et al., 2023).

Os filmes biodegradáveis são produzidos por materiais renováveis e seguros, como polissacarídeos (celulose e seus derivados, amido, pectina, quitosana), proteínas (proveniente de cereais como soja, trigo, milho) e lipídeos (óleos vegetais, cera, triglicerídeos) (HASSAN, 2018). Entre eles, a celulose apresenta grande potencial nesta substituição pois é um polímero renovável e biodegradável, encontrado abundantemente na natureza, além de desempenhar um alto desempenho mecânico (TIAN et al., 2022).

O presente trabalho teve como objetivo pesquisar sobre a utilização de celulose como alternativa na substituição do plástico, realizando uma revisão bibliográfica do seu potencial na produção de filmes biodegradáveis.

2. MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo aborda uma revisão sistemática realizada em junho de 2023 na plataforma eletrônica *Science Direct* de artigos científicos que utilizaram celulose como substituição sustentável de materiais provenientes do petróleo na produção de embalagens biodegradáveis. Os artigos considerados para este estudo foram publicados entre 2020 e 2023, a fim de realizar uma revisão de estudos recentes, além disso na busca foram utilizados os seguintes termos: “cellulose”, “biodegradable packaging”. Para a escolha dos artigos, foram considerados 08 artigos que apresentavam no mínimo, duas combinações de palavras-chaves no título, desconsiderando artigos publicados na área da saúde. Foram encontrados um total de 76 artigos. A pesquisa constituiu a busca de resultados promissores na produção de filmes biodegradáveis seguros e viáveis com a utilização da celulose.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atualmente, tanto as empresas quanto os consumidores têm optado por alternativas ambientalmente amigáveis, esta tendência popularmente conhecida como “eco friendly” têm incentivado o desenvolvimento de pesquisas que substituam os recursos não renováveis para produção de embalagens, visto que são limitados e o acúmulo de plástico apresenta um rápido crescimento. Neste âmbito, destacam-se as embalagens plásticas para alimentos, onde o uso é por um curto período aliado a tendência de crescimento da comercialização de pequenas porções. Assim, devido ao crescente descarte e longo tempo para degradação, e às dificuldades na reciclagem, o impacto ambiental tem se agravado. Em vista disso, materiais renováveis e biodegradáveis ganham espaço nas pesquisas, principalmente filmes a base de celulose como são mostrados nesta pesquisa, que devido a suas características proporcionam boas propriedades mecânicas e ópticas (BOOPASIRI et al., 2023; HOU et al., 2022).

A celulose, é uma alternativa promissora, pois é o recurso natural mais abundante da terra, ela apresenta uma estrutura molecular forte e rígida, entretanto, esta característica na produção de embalagens, resulta em filmes com pouca flexibilidade e alongamento (PAUDEL et al., 2023; XIA et al., 2022). Este efeito foi observado no trabalho de GUO et al. (2023), que utilizou etilcelulose (EC) como fonte de celulose, visto que o filme composto somente de EC era quebradiço, limitando a sua aplicação. Entretanto, com a alteração parcial da celulose em conjunto com poliuretano, houve aumento da tenacidade e elasticidade do filme, resultando em um maior desempenho do material devido às ligações ureia dinâmicas.

ROY et al. (2022) utilizaram nanofibras de celulose (CNF) pura e com adição de glicerol (GL-CNF) na produção dos filmes, assim o alongamento de ruptura aumentou em 612% com a adição de glicerol.

Um ponto interessante desta pesquisa, é que o glicerol por apresentar uma característica higroscópica, aumentou a umidade dos filmes pois formam pontes de hidrogênio rapidamente com a água, o que não é interessante, mas ao adicionar extrato de alho na composição dos filmes houve redução da umidade e permeabilidade ao vapor de água. De acordo com os autores, na análise de microscopia eletrônica de varredura observou-se que na presença do extrato de alho houve maior compactação do filme.

PAUDEL et al. (2023), também investigaram o efeito de plastificantes (glicerol e sorbitol) juntamente com a celulose e observou maior resistência à tração e alongamento na ruptura ao utilizar esta combinação. Além disso, a utilização de cloreto de cálcio aumentou o brilho dos filmes. Segundo os autores, a distribuição do glicerol e sorbitol forma uma rede estável na celulose devido às pontes de hidrogênio, proporcionando filmes mais transparentes. De acordo com Malekzadeh et al. (2023), em filmes compostos por amido, a cristalinidade obtida através da Difração de raio-X (XRD), está associada às cadeias de amilose que cristalizam em uma estrutura helicoidal ao ser aquecida com glicerol. Os autores, ao avaliarem o parâmetro L na análise de cor, observaram que os filmes compostos por amido/celulose nanofibrilada são mais transparentes do que os compostos por amido/lignocelulose nanofibrilada, pois a adição da celulose aumentou significativamente a intensidade do pico da XRD.

Em outro estudo, filmes biodegradáveis à base de nanofibras de celulose fosforilada foram preparados a partir de fibras de celulose vegetal (pasta kraft branqueada de fibra longa). Os autores concluíram que, a fosforilação das nanofibras de celulose melhorou a transparência, as propriedades mecânicas e ópticas dos filmes (HOU et al, 2022).

Outro ponto a ser analisado nos filmes a base de celulose é a hidrofobicidade, pois é uma propriedade que causa limitações na sua utilização. Por esta razão, o trabalho de Zhu et al. (2022) teve como objetivo a produção de filmes com alta hidrofobicidade, incorporando uma cera natural na matriz de celulose obtida de algodão. Para isso, foram analisados vários tipos de cera e segundo os autores, os filmes apresentaram um bom caráter hidrofóbico e alta resistência à tração depois do processo de recozimento, onde foram colocados entre duas placas de vidro e adicionados em forno a vácuo por 6 horas, com temperatura de recozimento controlada em 85, 120 e 150°C. A cera natural juntamente com a celulose forma uma superfície hidrofóbica.

A Tabela 1 a seguir, é um breve resumo das metodologias dos 08 trabalhos analisados, onde é descrito: o tipo de filme produzido, extração/preparo da celulose, método de preparo dos filmes, análises de caracterização e autor/ano.

Tabela 1: Artigos selecionados para a pesquisa.

TIPO DE FILME	EXTRAÇÃO/PREPARO DO MATERIAL	PREPARO DOS FILMES	CARACTERIZAÇÃO	PROPRIEDADES MECÂNICAS	AUTOR /ANO
PLA biodegradável incorporado com celulose nanocristalina (NCC) e celulose nanocristalina revestida com óxido de zinco	Incorporação da celulose nanocristalina (NCC) e celulose nanocristalina revestida com óxido de zinco (NCC -ZnO)	Casting	- FTIR - UV -Vis - TGA - Atividade antibacteriana - TG	- Resistência à tração - Módulo de Young (E) - Alongamento na ruptura	BOOPASIRI et al., 2023
Bio -híbridos de polifenóis (TPs) de chá através de resíduos têxteis de algodão	Solvente Cloreto De 1 - Etil -3-Metilimidazóli/ agitação mecânica	Banho de coagulação	- XRD - FTIR - TGA - Hidrofobicidade da superfície - Caracterização óptica - Propriedades de barreira - Ação antioxidantes	Não realizou	XIA et al., 2022
Base de pasta kraft branqueada de fibra longa de celulose	Convencional	Banho de coagulação	- MEV - Densidade - Transmitância de LUZ	- Resistência à tração - Módulo de Young (E) - Tenacidade - Resistência à dobra	HOU et al., 2022
Incorporação de cera natural na polpa de algodão/celulose	Emulsão (cera e celulose) Agitação/centrifugação	Casting	- MEV - Propriedades ópticas - FTIR - Hidrofobicidade - Biodegradabilidade	- Resistência à tração	ZHU et al., 2022
Amido de milho/celulose nanofibrilada (CS/NFC) e amido de milho/lignocelulose nanofibrilada (CS/NFLC)	Moagem Adição de solução de amido	Casting	- MEV -FEG - XRD - Solubilidade alcalina e ácida - Propriedades de barreira - Propriedades ópticas - Biodegradabilidade	- Resistência à tração - Alongamento na ruptura - Resistência ao rasgo	MALEKZADE H et al., 2023
Poliuretano à base de celulose	Aquecimento da solução de reação entre etilcelulose, iso - diisocianato de forona e neopentil glicol a 80 °C	- Dissolução em etanol - Agitação - Secagem	- MEV - XRD - FTIR - UV -Vis - Estabilidade térmica - Propriedades de barreira - Biodegradabilidade	- Resistência à tração - Alongamento na ruptura - Tenacidade - Resistência ao rasgo	GUO et al., 2023
Celulose microcristalina	A celulose foi solubilizada em solução de ZnCl2 e reticulado com íons Ca2+	Casting	- Cor - Solubilidade e absorção de água - PVA - Biodegradabilidade	- Resistência à tração - Alongamento na ruptura	PAUDEL et al., 2023
Nanofibras de celulose (CNFs), suco de alho fresco e glicerol	Sintetizados a partir de madeira macia de “pinheiro”	Filtração à vácuo	- Teor de umidade - PVA - Solubilidade e absorção de água	- Resistência à tração - Alongamento na ruptura - Módulo de Young (E) - Tenacidade	ROY et al., 2022

Fonte: autores, 2023. FTIR - Infravermelho por transformada de Fourier; PVA - Permeabilidade ao vapor de água; UV-Vis - Ensaio de Espectroscopia na Região do Ultravioleta-Visível; XRD - Difração de raios-X; MEV - Microscopia eletrônica de varredura; MEV-FEG Microscopia eletrônica de varredura com emissão; TGA - Análise Termogravimétrica; TG - Temperatura de transição vítrea.

CONCLUSÃO

A produção de filmes biodegradáveis a base de celulose vem sendo amplamente explorada como potencial fonte na substituição de materiais não renováveis. Nos 08 trabalhos analisados, os autores conseguiram obter filmes biodegradáveis utilizando a celulose como polímero biodegradável substituto do plástico na fabricação de embalagens para alimentos. As avaliações das propriedades mecânicas e de permeabilidade ao vapor de água comprovaram que a partir da celulose o material obtido é rígido e higroscópico, ou seja, o seu uso isolado é limitado, sendo necessário a realização de modificações ou mistura a outros materiais que não comprometam a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

BOOPASIRI, Supparoek; SAE-OUI, Pongdhorn; JANGPROMMA, Nisachon; NGERNYEN, Yuvarat; SIRIWONG, Chomsri. A bio-plastic composite film based on nanocrystalline cellulose-zinc oxide reinforced poly (lactic acid) with enhanced UV-shielding effect and antibacterial activity for food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 38, 101102, 2023. DOI: 10.1016/j.fpsl.2023.101102

CZAJA-JAGIELSKA, Natalia, et al. Biodegradable packaging based on pla with antimicrobial properties. *Logforum*, 2020, 16.2: 9. DOI: 10.17270/J.LOG.2020.391

FARSHCHI, Elnaz; PIRSA, Sajad; ROUFEGARINEJAD, Leila; ALIZADEH, Mohammad; REZAZAD, Mahmoud. "Photocatalytic/biodegradable film Based on Carboxymethyl Cellulose, Modified by Gelatin and TiO₂-Ag Nanoparticles." *Carbohydrate Polymers* 216 (2019): 189-96. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.03.094

GUO, Yuqian; AN, Xianhui; QIAN, Xueren. Biodegradable and reprocessable cellulose-based polyurethane films for bonding and heat dissipation in transparent electronic devices. *Industrial Crops & Products*, V. 193, 2023, 116247. DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.116247

GUZMAN, POYOUL, Susana; TEDESCHI, Giacomo; GOLDONI, Luca; BENÍTEZ, José J. Benítez; CESERACCIU, Luca; KOSCHELLA, Andreas Koschella; HEINZE, Thomas Heinze; ATHASSIOU, Athanassia; HEREDIA-GUERRERO, José A. Greaseproof, hydrophobic, and biodegradable food packaging bioplastics from C6-fluorinated cellulose esters. *Food Hydrocolloids*, V. 128, 107562, 2022. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107562

HASSAN, Bilal; CHATHA, Shahzad Ali Shahid Chatha; HUSSAIN, Abdullah Ijaz; ZIA, Khalid Mahmood; AKHTAR, Naseem. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, V. 109, P. 1095-1107, 2018. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097

HIDAYATI, Sri Zulferiyenni; MAULIDIA, Ulfa Maulidia; SATYAJAYA, Wisnu; HADI, Sutopo. Effect of glycerol concentration and carboxy methyl cellulose on biodegradable film characteristics of seaweed waste. *Heliyon*, V. 7, n. 8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07799>

HOU, Gaoyuan; ZHAO, Sishun; LI, Yujie; FANG, Zhiqiang; ISOGAI, Akira. Mechanically robust, flame-retardant phosphorylated cellulose films with tunable optical properties for light management in LEDs. *Carbohydrate Polymers*, V. 298, 120129, 2022. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.120129

JIN, Lu; YANG, Qian; XU, Jia; ZHANG, Xinjiang; YAO, Wei; WANG, Jinshan; ZHAO, Yanteng; TIAN, Huafeng; HE, Meng. Fabrication of cellulose/rectorite composite films for sustainable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, V. 224, P. 1471-1477, 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.10.234

MALEKZADEH, Elham; TATARI, Aliasghar; FIROUZABADI, Mohammadreza Dehghani. Preparation, characteristics, and soil-biodegradable analysis of corn starch/nanofibrillated cellulose (CS/NFC) and corn starch/nanofibrillated lignocellulose (CS/NFLC) films. *Carbohydrate Polymers*, V. 309, 120699, 2023. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.120699

MALMIR, Sara; MONTERO, Belén; RICO, Maite; BARRAL, Luis; BOUZA, Rebeca Bouza. Morphology, thermal and barrier properties of biodegradable films of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) containing cellulose nanocrystals. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, V. 93, P. 41-48, 2017. DOI: 10.1016/j.compositesa.2016.11.011

PAUDEL, Sandeep; REGMI, Sumi; JANASWAMY, Srinivas. Effect of glycerol and sorbitol on cellulose-based biodegradable films. *Food Packaging and Shelf Life*, V. 37, 101090, 2023. DOI: 10.1016/j.fpsl.2023.101090

Plastic Films And Sheets Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (PA, PVC, BOPP, LDPE/LLDPE, HDPE, CPP), By Application (Packaging, Non-packaging), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030 (2023). GRAND VIEW RESEARCH (GVR). Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/plastic-films-and-sheets-market>. Acesso em 01 de julho de 2023.

ROY, Sunanda; DAS, Tanya; GOH, Kheng Lim; VERMA, Chhavi; MAJI, Pradip K; SHARMA, Kamal; CHANG, Young-Wook. Synergistic effects of fresh garlic juice in cellulose based antimicrobial food packaging film. *Materials Letters*, V. 324, 132538, 2022. DOI: 10.1016/j.matlet.2022.132538

TIAN, Sibao; JIANG, Jungang; ZHU, Pengui; YU, Zhengyang; OGUZLU, Hale; BALLDELLI, Alberto; WU, Jie; ZHU, Jianying; SUN, Xia; SADDLER, Jack; JIANG, Feng. Fabrication of a Transparent and Biodegradable Cellulose Film from Kraft Pulp via Cold Alkaline Swelling and Mechanical Blending. *ACS Sustainable Chemistry Engineering*, v. 10, n. 32, p. 10560-10569, 2022. DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c01937

XIA, Guangmei; JI, Xiaoqian; XU, Zhen; JI, Xingxiang. Transparent cellulose-based bio-hybrid films with enhanced anti-ultraviolet, antioxidant and antibacterial performance. *Carbohydrate Polymers*, v. 298, 120118, 2022. DOI: 10.1016/j.carbpol.2022.120118

ZHU, Mengxiang; YING, Daofa; ZHANG, Huaran; XU, Xiaojuan; CHANG, Chunyu. Self-healable hydrophobic films fabricated by incorporating natural wax into cellulose matrix. *Chemical Engineering Journal*, V. 446, part 1, 136791, 2022. DOI: 10.1016/j.cej.2022.1367

ANÁLISE E AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO CAP 50/70 MODIFICADO COM ÓLEO DE COPAIBA PARA FINS DE APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Pedro Henrique da Silva
pedro.henrique@estudante.ufcg.edu.br

Ana Maria Gonçalves Duarte
ana.duartemendonca@professor.ufcg.edu.br

Luana Alves dos Santos
luana.santos@estudante.ufcg.edu.br

Maria Eduarda Olinto Costa Ferreira
maria.olinto@estudante.ufcg.edu.br

Thamires Dantas Guerra
thamires_guerra@hotmail.com

RESUMO

O comportamento do CAP pode ser influenciado pelas condições a que está submetido, comportando-se como um sólido vítreo em baixas temperaturas e/ou diante de um carregamento rápido, ou como um fluido viscoso em altas temperaturas e/ou carregamento lento. Visando aprimorar suas propriedades e reduzir as temperaturas de processamento e compactação, comumente são adicionados aditivos a este material. Este projeto teve como objetivo principal avaliar o comportamento reológico do ligante asfáltico CAP 50/70 modificado com a adição de óleo de copaíba. Onde foram conduzidos diversos ensaios de caracterização física e reológica, como o Multiple Stress Creep Recovery - MSCR, LAS e grau de desempenho-PG, tanto para o

CAP 50/70 puro quanto para o CAP 50/70 com adição de 3% e 5% de óleo de copaíba, antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO. Os resultados mostraram que a adição do óleo de copaíba proporcionou melhorias em algumas das propriedades reológicas do ligante, embora nem todos os parâmetros analisados tenham apresentado benefícios significativos. Isso destaca a importância de uma abordagem cuidadosa na seleção de aditivos para melhorar as características do CAP, assim como, a utilização do óleo em misturas asfálticas recicladas, uma vez que se encontram bastante rígidas.

Palavras-chave:

Ligante asfáltico; óleo de copaíba; reologia; desempenho.

ABSTRACT

The CAP's behavior can be influenced by the conditions to which it is subjected, behaving like a glassy solid at low temperatures and/or fast loading, or like a viscous fluid at high temperatures and/or slow loading. In order to improve its properties and reduce processing and compaction temperatures, additives are commonly added to this material. This project's main objective was to evaluate the rheological behavior of the asphalt binder CAP 50/70 modified with the addition of copaiba oil. Where several physical and rheological characterization tests were conducted, such as Multiple Stress Creep Recovery - MSCR, LAS and performance

grade-PG, both for pure CAP 50/70 and for CAP 50/70 with addition of 3% and 5% of copaiba oil, before and after short-term aging-RTFO. The results showed that the addition of copaiba oil provided improvements in some of the rheological properties of the binder, although not all analyzed parameters showed significant benefits. This highlights the importance of a careful approach in the selection of additives to improve CAP characteristics, as well as the use of oil in recycled asphalt mixtures, since they are quite rigid.

Keywords:

Asphalt binder; copaiba oil; rheology; performance.

INTRODUÇÃO



pavimento asfáltico pode ser entendido como uma camada de revestimento a base de agregados e material betuminoso, cuja finalidade é proporcionar maior conforto aos usuários, segurança, impermeabilização das camadas subjacentes que compõe o pavimento, durabilidade, assim como receber diretamente as tensões provenientes do tráfego.

De acordo com CNT, (2022) cerca de 110.333 km das rodovias do Brasil estão pavimentadas e dentre os quais 40,7% do total se encontram em situação ruim o que ocasiona um maior gasto por combustível fóssil e uma maior liberação de gases do efeito estufa.

Nos últimos anos tem surgido a necessidade do uso de novas tecnologias e metodologias que busquem diminuir a emissão de componentes químicos que aceleram o fenômeno do efeito estufa. Em uma pesquisa realizada por Lima *et al.* (2022), foi exposto, por meio dos resultados publicados no painel intergovernamental de mudanças climáticas, AR6 climate change em 2021, que nos últimos 60 anos, o Brasil tem testemunhado um crescente aumento na temperatura ambiente.

Esse fenômeno ganha destaque quando analisamos o setor crucial dos transportes, onde se torna evidente que esse processo não está isento de consequências significativas. As emissões de substâncias como CH₄, NO₂ e CO₂ decorrentes do intenso consumo energético necessário para a produção da mistura asfáltica são consideráveis, e, de forma crucial, vêm reforçando o impacto do setor de transportes no panorama ambiental.

A partir dessas problemáticas apontadas, surge o uso de agentes modificadores de origem natural nos ligantes asfálticos ou “aditivos verdes”, como redutores de temperaturas de usinagem e compactação, assim como de melhoradores do comportamento físico, reológico e mecânico. Na literatura é possível encontrar o uso de lignina, óleo de feijão, óleo de cozinha, óleo vegetal residual, óleo de canola, óleo de girassol e cera de carnaúba (WANG, 2013; ÁGUSTSSON, 2014; GONG *et al.* (2017); SETIAWON *et al.* (2017); CARVALHO, 2018; MORAES, 2018; GUERRA, 2019; SOUSA, 2020 e TORRES, 2020) que se mostraram como um potencial agente modificante e aliado do meio ambiente.

Baseado nisso, o presente trabalho terá como objetivo principal avaliar o comportamento reológico do ligante asfáltico 50/70 modificado com óleo de copaíba nos teores de 1, 2 e 3% afim de se determinar suas propriedades frente ao seu potencial uso como agente modificador.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Analisar e avaliar o comportamento do ligante asfáltico 50/70 modificado com óleo de copaiba nos teores de 1,2 e 3% frente os resultados apresentados no ensaio de reologia e determinar suas propriedades como potencial agente modificador.

Objetivos específicos

- Submeter o ligante asfáltico 50/70 modificado com óleo de copaiba nos teores de 1, 2 e 3% a ensaios reológicos de *Performance Grade* - PG, Recuperação sob Tensão Multipla - MSCR e *Linear Amplitude Sweep* – LAS;
- Avaliar e determinar suas propriedades reológicas antes e após o Forno de filme Fino Rotativo – RTFOT.

DESENVOLVIMENTO

Materiais e métodos

Materiais

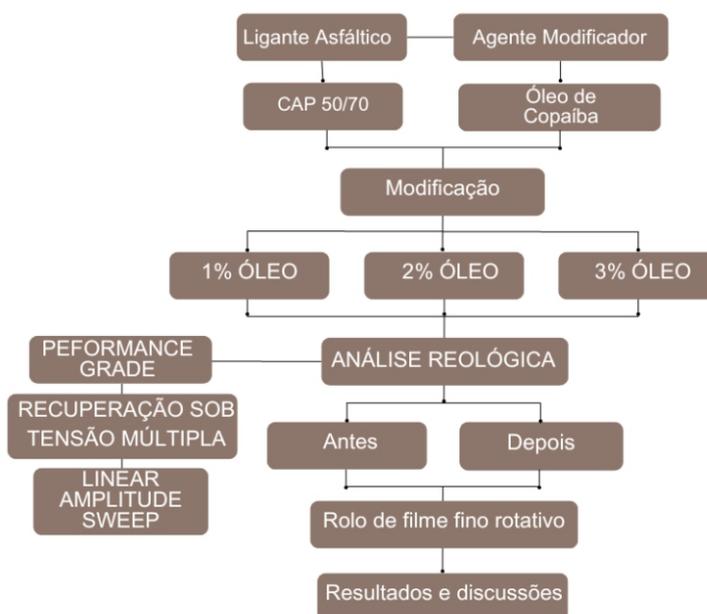
Os materiais utilizados nesta pesquisa foi:

- Ligante convencional: O ligante foi obtido da distribuidora Stratura Asfaltos S/A (antiga Ipiranga Asfaltos S/A). Será utilizado o CAP 50/70;
- Ligante modificado: ligante 55/75 SBS cedido pela empresa JBR Engenharia;
- Aditivo: Óleo de copaíba.

Metodologia

A metodologia escolhida na presente pesquisa consistiu em submeter as 3 amostras de cap 50/70 modificadas nos teores de 1, 2 e 3%, submeterem aos ensaios de reologia antes e após o procedimento de Rolo de Filme Fino Rotativo, avaliar e discutir os resultados. O método pode ser visualizado melhor conforme o fluxograma disposto na figura 1 abaixo:

Figura 1 – Procedimentos adotados na pesquisa



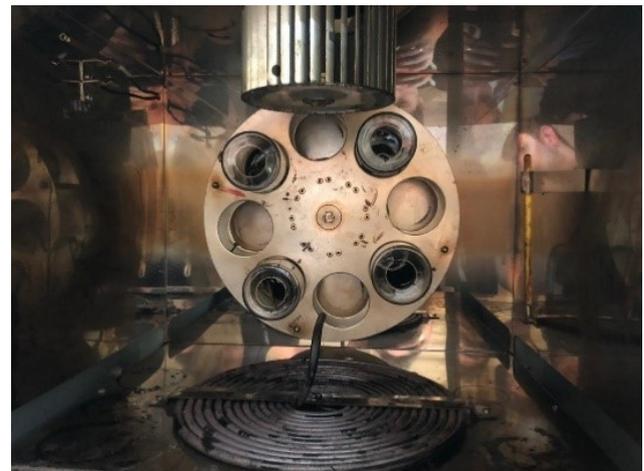
Fonte: Autoria Própria 2023.

Envelhecimento a curto prazo – RTFOT

A estufa de película fina plana RTFOT (Figura 2) provoca o envelhecimento do ligante asfáltico por oxidação e evaporação, permitindo avaliar a presença de frações de óleos mais leves e a oxidação que ocorre durante o aquecimento a 163 °C. Além do mais, o ensaio pode ser entendido como um procedimento padrão empregado para acelerar o envelhecimento do ligante asfáltico, permitindo a avaliação rápida de suas propriedades físicas e químicas. Realizado principalmente em laboratórios de controle de qualidade de asfalto, esse ensaio tem como objetivo primordial compreender o comportamento do ligante ao longo do tempo e sob diversas condições climáticas. Dessa forma, torna-se possível assegurar a qualidade e a durabilidade do pavimento asfáltico.

O ensaio foi conduzido de acordo com as especificações da norma ASTM D 2872:1997 e da ABNT NBR 15235:2005 para as amostras de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) puro e modificado. As amostras modificadas incluíram adições de 1%, 2% e 3% de óleo de copaíba.

Figura 2 – Equipamento RTFO



Fonte: Autoria Própria 2023.

Performance grade (Grau de desempenho)

O principal objetivo do ensaio de Performance Grade é definir a faixa de temperaturas em que o ligante asfáltico apresentará um desempenho apropriado. Isso engloba resistência ao tráfego, deformação permanente e fadiga, visando assegurar a durabilidade e segurança do pavimento.

Para a realização desse ensaio, utiliza-se um equipamento chamado Reometro de cisalhamento dinâmico (*DSR*), que é capaz de medir as propriedades reológicas do ligante asfáltico em diferentes temperaturas e taxas de deformação. Isso possibilita uma análise detalhada do comportamento do ligante em condições variáveis de temperatura e carregamento, permitindo uma seleção mais precisa do material para as necessidades específicas de cada projeto de pavimentação.

Linear Amplitude Sweep

Preconizado pela norma AASHTO TP101-14, o LAS é conduzido usando um reômetro de cisalhamento dinâmico (*DSR*), figura 3, um equipamento de análise reológica que aplica uma variação linear na amplitude da tensão (ou deformação) em uma frequência constante. Durante o ensaio, a tensão (ou deformação) é gradualmente aumentada e, em seguida, reduzida, realizando uma varredura linear.

Essa técnica possibilita o estudo do comportamento do ligante asfáltico em diferentes níveis de tensão e sua resposta a essas variações. Os principais parâmetros reológicos obtidos incluem o módulo de armazenamento (G') e o módulo de perda (G''). O módulo de armazenamento representa a parte elástica do material, enquanto o módulo de perda representa a parte viscosa.

Esses parâmetros permitem que engenheiros e pesquisadores compreendam melhor o comportamento do ligante asfáltico sob várias condições de carga, temperatura e frequência, o que auxilia no projeto de pavimentos rodoviários mais resistentes e duráveis.

Figura 3 – Reômetro de Cisalhamento Dinâmico



Fonte: Autoria Própria 2023.

Fluência Sob Recuperação Múltipla (MSCR)

Normatizado pela ASTM D7405, o ensaio MSCR é realizado em ligantes asfálticos para simular o comportamento do material em condições de tráfego real, especialmente em pavimentos com alto volume de tráfego ou em climas quentes, onde as deformações são críticas. O teste avalia a capacidade do ligante asfáltico de suportar repetidas cargas de tráfego, que podem causar deformações permanentes ao longo do tempo.

Durante o ensaio, o ligante é submetido a uma carga de tensão constante por um período prolongado (creep), simulando o efeito cumulativo do tráfego ao longo do tempo. Em seguida, a tensão é

removida e o material é deixado em repouso para que parte da deformação sofrida seja recuperada. Esse processo é repetido várias vezes em diferentes temperaturas e níveis de tensão para obter informações detalhadas sobre o comportamento do ligante.

Os resultados fornecem dados importantes sobre a fluência do ligante asfáltico, ou seja, sua tendência de se deformar gradualmente sob tensão constante e temperatura elevada ao longo do tempo. Isso ajuda a determinar as propriedades viscoelásticas do ligante, como o módulo de fluência e a recuperação elástica após a remoção da carga. Essas informações são cruciais para projetar misturas asfálticas mais duráveis e resistentes à deformação permanente, melhorando assim a qualidade e a vida útil dos pavimentos rodoviários.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Performance Grade

O ensaio de PG foi conduzido antes e após o envelhecimento a curto prazo no ligante asfáltico. Esse teste fornece informações cruciais sobre a temperatura máxima em que o ligante pode ser utilizado, além de parâmetros que medem sua deformabilidade e rigidez. Os resultados obtidos por meio do Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (DSR) no ensaio de PG para o ligante asfáltico não modificado são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaio de Performance Grade

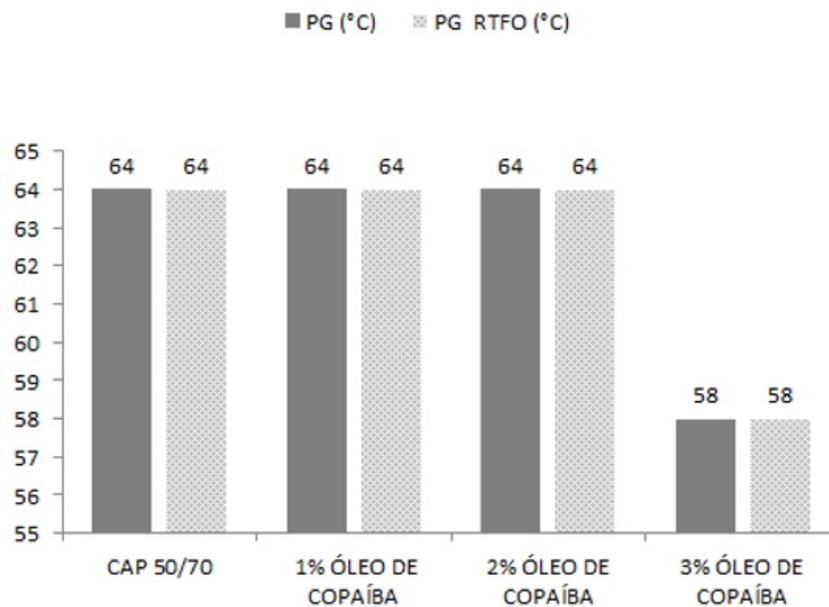
	Frequência Angular (rad/s)	Temperatura (°C)	Estresse (%)	G* (kPa)	G*/sin(delta) (kPa)	Passou/falhou
1	10.0	46.1	12.1	14.6	15.2	Passou
2	10.0	52.1	12.1	5.77	5.90	Passou
3	10.0	57.9	12.1	2.44	2.47	Passou
4	10.0	63.9	12.1	1.08	1.09	Passou
5	10.0	69.9	12.0	0.519	0.520	Falhou

Fonte: Autoria Própria 2023.

Através do ensaio de Performance Grade (PG), são obtidos os parâmetros de Módulo Complexo (G^*), que está relacionado à rigidez do ligante, o ângulo delta (δ), que está relacionado à elasticidade, e o parâmetro $G^*/\sin(\delta)$, que reflete a deformabilidade do ligante asfáltico. Além disso, o ensaio delimita a faixa de temperatura mínima e máxima de uso do ligante. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos

para as temperaturas máximas de utilização do ligante asfáltico antes e após o processo de envelhecimento a curto prazo (RTFO).

Figura 4 – Temperaturas máximas de utilização do ligante asfáltico antes e após (RTFO)



Fonte: Autoria Própria 2023.

Os resultados obtidos mostram que o ligante asfáltico puro CAP 50/70 e o ligante com adição de 1% e 2% de óleo de copaíba mantiveram constantes suas temperaturas de Performance Grade (PG) antes e após o envelhecimento. Isso indica que eles foram mais resistentes ao efeito da oxidação, preservando suas propriedades de deformabilidade e rigidez em altas temperaturas.

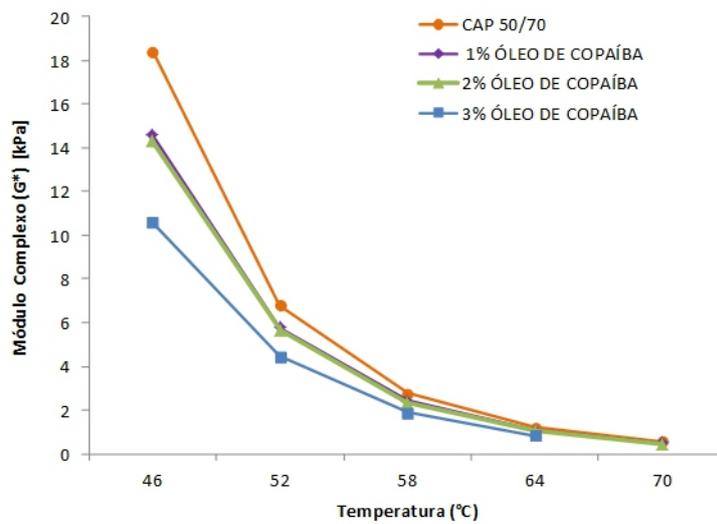
Para o ligante com adição de 1% de óleo de copaíba, o antioxidante presente no óleo impediu o efeito degenerativo, mantendo a temperatura de PG constante tanto para o ligante sem adição quanto para o ligante envelhecido, em 64 °C. No entanto, à medida que o teor de óleo de copaíba aumenta, ocorre uma perda na temperatura de PG devido à diminuição da viscosidade e ao aumento da deformabilidade do ligante com o aumento da temperatura.

Quando o teor de óleo de copaíba atinge 3%, observou-se uma redução significativa na temperatura de utilização do ligante, limitando-a a 58°C. Essa temperatura pode ser atingida em dias muito quentes no nordeste brasileiro, o que prejudica a utilização do ligante nessas condições.

Quanto ao módulo complexo (G^*), que reflete a rigidez do ligante, as Figuras 5 e 6 mostram que esse parâmetro diminui com o aumento do teor de óleo de copaíba. Em outras palavras, o ligante se torna

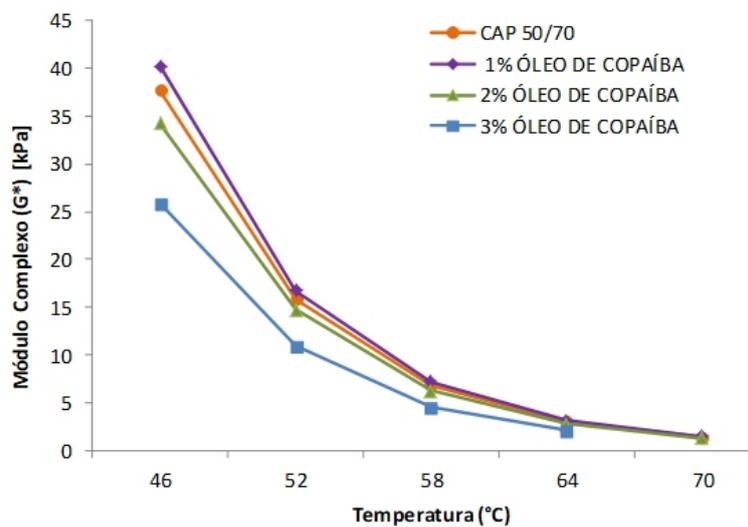
menos rígido, tanto antes como após o envelhecimento a curto prazo (RTFO), à medida que o teor de óleo de copaíba é incrementado.

Figura 5 – Módulo Complexo (G^*) x Temperatura ($^{\circ}C$) dos ligantes em estudo antes do envelhecimento a curto prazo-RTFO



Fonte: Autoria Própria 2023.

Figura 6 – Módulo Complexo (G^*) x Temperatura ($^{\circ}C$) dos ligantes em estudo após envelhecimento a curto prazo-RTFO



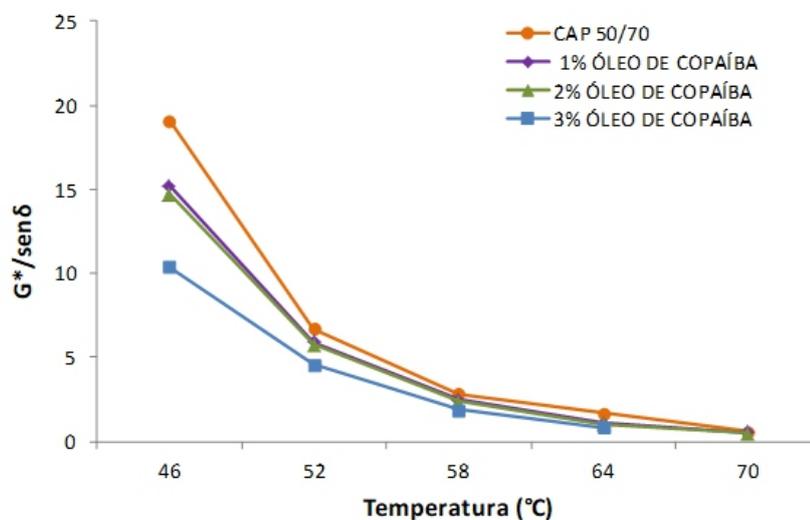
Fonte: Autoria Própria 2023.

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que antes do envelhecimento a curto prazo (RTFO), o ligante asfáltico puro apresentou um módulo complexo superior aos demais ligantes, com valor de aproximadamente 20 kPa, o qual diminuiu continuamente com o aumento da temperatura e se aproximou dos valores obtidos para os ligantes modificados com óleo de copaíba.

Após o envelhecimento, os ligantes puro e modificado com 1% de óleo de copaíba mostraram valores muito próximos, em torno de 38 e 40 kPa, respectivamente. Houve uma redução nos valores de módulo complexo com o aumento da temperatura. No entanto, o ligante modificado com 1% de óleo de copaíba manteve seus valores de módulo complexo até a temperatura de 70°C. Isso sugere que a adição de óleo de copaíba atribui propriedades antioxidantes ao ligante asfáltico, permitindo seu uso em altas temperaturas sem comprometer seu desempenho.

Além disso, as Figuras 7 e 8 ilustram os resultados obtidos para a variação do parâmetro $G^*/\text{sen}(\delta)$ tanto antes como após o envelhecimento a curto prazo-RTFO.

Figura 7 – Variação do parâmetro $G^*/\text{sen}(\delta)$ x Temperatura (°C) dos ligantes em estudo antes do RTFO

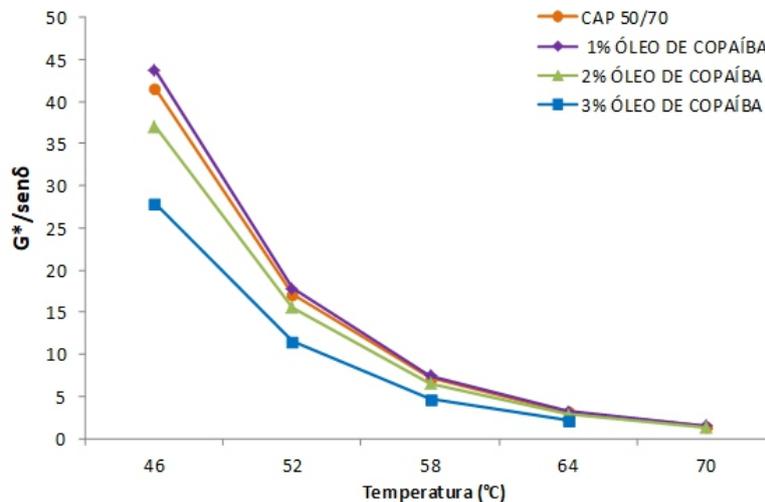


Fonte: Autoria Própria 2023.

O parâmetro $G^*/\text{sen}(\delta)$ é uma medida da resistência do ligante asfáltico à deformação permanente e é usado como critério de parada no ensaio de Performance Grade (PG). No caso do ligante virgem, quando o valor de $G^*/\text{sen}(\delta)$ fica abaixo de 1,0, o ensaio é interrompido, indicando que o ligante está muito deformável e não atende aos critérios mínimos de desempenho. Já no ensaio com o ligante envelhecido, o critério de parada ocorre quando o valor de $G^*/\text{sen}(\delta)$ fica abaixo de 2,0.

Ao comparar dois ligantes modificados com adição de óleo de copaíba nos teores de 1% e 2%, que apresentam o mesmo valor de PG (64°C), observa-se que o ligante com 2% de óleo de copaíba tem uma redução de 13% no valor de $G^*/\text{sen}(\delta)$ em relação ao teor de 1%.

Figura 8 – Variação do parâmetro $G^*/\text{sen}(\delta)$ x Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dos ligantes em estudo após RTFO



Fonte: Autoria Própria 2023.

Isso significa que o ligante com 2% de óleo de copaíba se torna mais deformável em comparação ao ligante com 1%, mostrando que o aumento do teor de óleo de copaíba na mistura é determinante para o desempenho do ligante em relação à deformação permanente, mesmo em uma mesma temperatura de utilização.

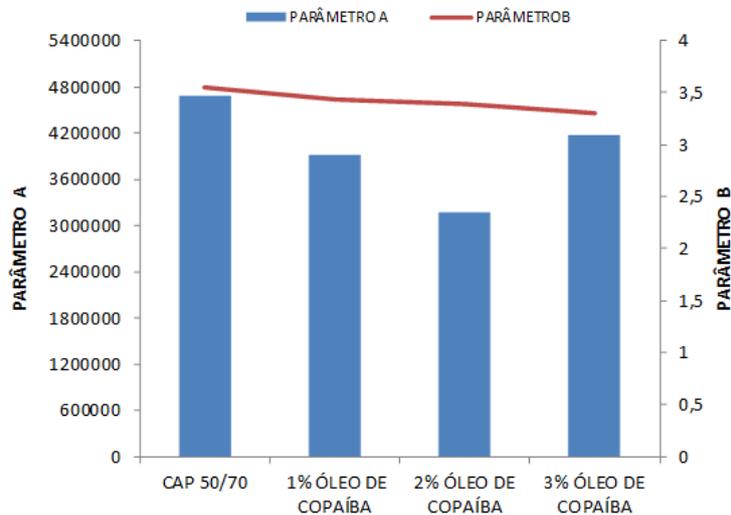
Linear Amplitude Sweep (LAS)

A Figura 9 apresenta os resultados da avaliação dos parâmetros A e B na resistência ao dano obtidos através do ensaio de Varredura Linear de Amplitude (LAS) para as amostras de ligante asfáltico CAP 50/70. Essas amostras incluem o ligante puro e o ligante modificado pela adição de óleo de copaíba nos teores de 1%, 2% e 3%.

De acordo com os resultados obtidos, a adição de óleo de copaíba ao ligante não demonstrou benefícios no aumento dos valores do parâmetro "A" para todos os teores analisados, o que sugere que a modificação proposta não melhora a integridade do ligante asfáltico diante do acúmulo de danos.

O parâmetro "A" está relacionado à variação da integridade do material devido ao dano acumulado, e valores maiores indicam que a amostra manteve sua integridade inicial. A amostra com adição de 3% de óleo de copaíba apresentou um valor de "A" mais próximo ao do ligante puro. Comparando o ligante puro com os ligantes modificados, os valores de "A" foram os seguintes: 16,5% para o ligante com 1% de óleo, 32,1% para o ligante com 2% de óleo e 11% para o ligante com 3% de óleo.

Figura 9 – Parâmetros A e B para os ligantes em estudo



Fonte: Autoria Própria 2023.

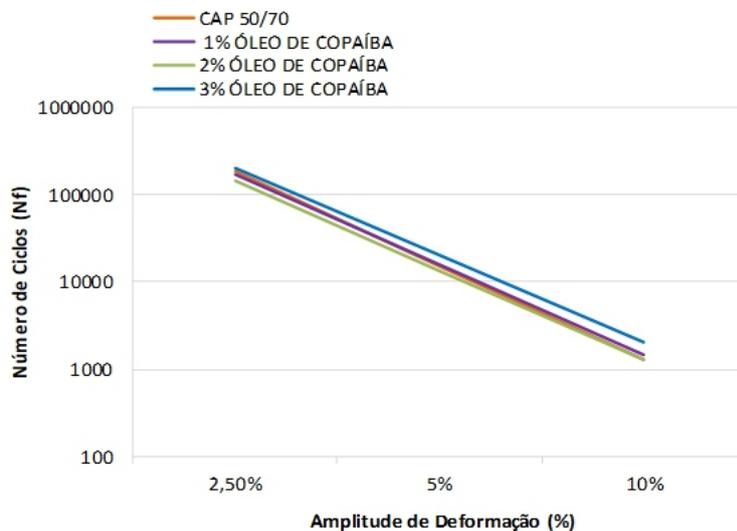
Quanto ao parâmetro "B", que indica a sensibilidade do ligante ao aumento do nível de deformações, verificou-se que a adição de óleo de copaíba resultou na redução dos valores de "B", sendo essa redução proporcional ao aumento dos teores de óleo. O ligante com 3% de óleo de copaíba teve uma redução de aproximadamente 1% no valor de "B" em comparação com o ligante puro, o que indica que a adição do óleo de copaíba foi benéfica, tornando o ligante menos sensível a variações de deformação sob mudanças térmicas.

É importante destacar que a sensibilidade não é desejada para ligantes asfálticos, pois indica uma maior susceptibilidade a deformações sob variações de temperatura. Nesse sentido, a adição de 3% de óleo de copaíba resultou no melhor valor para o parâmetro "B", por ter uma variação mínima em relação ao ligante puro.

Por meio do princípio do dano contínuo viscoelástico (VECD), é possível criar um modelo de fadiga que fornece informações sobre o comportamento do ligante asfáltico em temperaturas intermediárias, para uma ampla faixa de deformações e ciclos de carregamento. A Figura 10 ilustra os resultados obtidos para a vida de fadiga (N_f) em função da amplitude de deformação para o ligante puro e o ligante modificado com óleo de copaíba.

Os resultados obtidos indicam que o parâmetro N_f (vida de fadiga) para o ligante com adição de óleo de copaíba aumenta gradualmente à medida que são adicionadas maiores porcentagens do aditivo. Foi observado que os resultados para o ligante puro e para o ligante com 1% de óleo de copaíba foram semelhantes. No entanto, para o teor de 2%, os resultados foram muito próximos aos obtidos para o ligante puro. Já o ligante com 3% de óleo de copaíba apresentou a maior vida de fadiga, enquanto o teor de 2% mostrou a mais elevada resistência à fadiga.

Figura 10 – Estimativa de vida da fadiga do ligante asfáltico em estudo



Fonte: Autoria Própria 2023.

É importante mencionar que, segundo Nascimento (2015), níveis de deformação de até 3% são características de pavimentos com baixos níveis deflectométricos e possuem comportamento semelhante a um pavimento rígido, enquanto altos níveis deflectométricos são mais comparáveis aos pavimentos flexíveis.

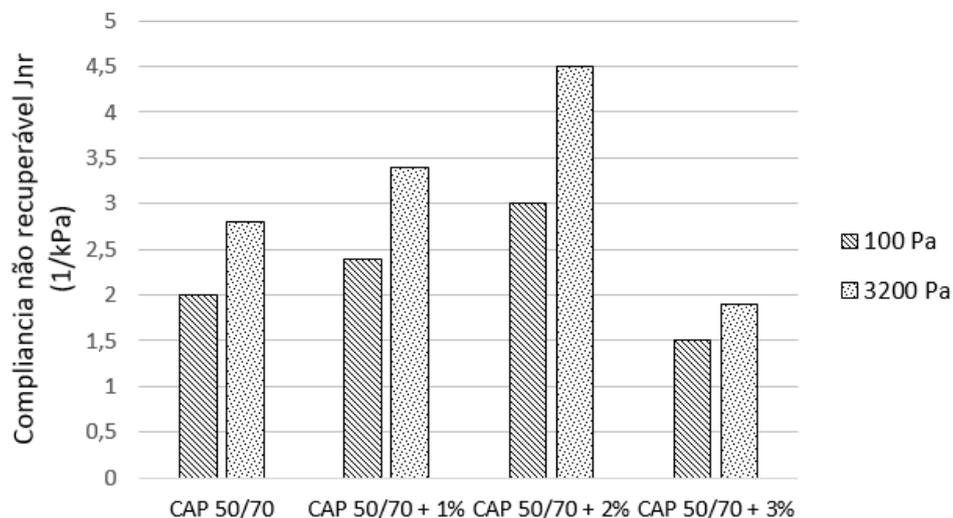
A análise da resistência ao dano de ligantes asfálticos utilizando o princípio do dano contínuo viscoelástico (VECD) demonstra uma forte dependência entre a resistência à fadiga dos ligantes asfálticos e o nível de deformação, conforme observado por Gama (2016) e Singh *et al.* (2017). Essa dependência mostra que a adição de óleo de copaíba aos ligantes pode afetar significativamente sua resistência à fadiga, o que pode ser um fator relevante ao considerar o desempenho do ligante em aplicações práticas.

Ensaio de fluência e recuperação sob tensão múltipla (MSCR)

Segundo Domingos *et al.* (2013), para avaliação de aumentos significativos na susceptibilidade à deformação permanente é utilizado o ensaio de MSCR, sendo este reconhecido como representativo para essa análise. Os parâmetros analisados neste teste são a compliância não recuperável e a recuperação elástica recuperada pelo ligante sob tensões de cisalhamento aplicadas.

A Figura 11 apresenta os resultados de Jnr para o CAP 50/70 nos teores de adição de óleo de copaíba para tensões aplicadas de 0,1 kPa e 3,2 kPa. Altos valores de Jnr indicam elevada susceptibilidade do ligante à deformação permanente, enquanto que menores valores indicam maior resistência do ligante a este efeito.

Figura 11 – Compliâncias não recuperáveis para o CAP 50/70 e teores de óleo de copaíba



Fonte: Autoria Própria 2023.

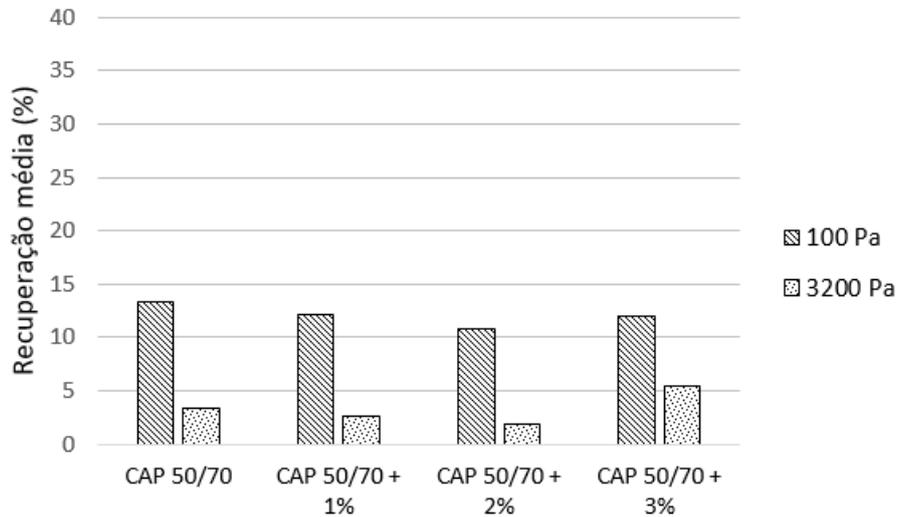
Analisando os resultados apresentados na Figura 12 para o ligante CAP 50/70, observa-se que os ligantes adicionados com 1% e 2% de óleo de copaíba obtiveram valores maiores de compliância não recuperável em comparação ao ligante puro. Por outro lado, para a adição de 3%, foi verificada uma menor compliância em relação ao ligante puro, o que é um indicador positivo para o uso dessa porcentagem de adição, evidenciando uma menor susceptibilidade à deformação permanente.

Para avaliar a capacidade de suporte ao tráfego que esses ligantes modificados poderiam ter, de acordo com a AASHTO M320 (2016), foi verificado que o teor de 1% apresentou Jnr (Número de Repetição de Carga) entre os limites de 2,0 kPa-1 e 4,0 kPa-1, estando classificado para suportar tráfego padrão (S), assim como o ligante puro. No entanto, o CAP 50/70 com 2% de óleo de copaíba apresentou um Jnr maior que 4,0 kPa-1, não se enquadrando na classificação da AASHTO M320 (2016), o que indica uma maior susceptibilidade a deformações, não atendendo aos requisitos para tráfego padrão. Já o CAP 50/70 com 3% de óleo de copaíba obteve um Jnr entre 1,0 kPa-1 e 2,0 kPa-1, indicando que atende aos requisitos para tráfego pesado (H).

Outro parâmetro obtido por meio do ensaio de MSCR é a porcentagem de recuperação elástica da amostra durante o tempo de 9 segundos após a aplicação de carga para os ciclos de tensão de 0,1 kPa e 3,2 kPa. A Figura 12 ilustra os resultados para o CAP 50/70 com as adições de óleo de copaíba.

Para um tráfego normal, com tensão de 0,1 kPa, todos os teores de óleo de copaíba adicionados ao ligante apresentaram redução na recuperação elástica em comparação com o ligante puro. Já para um tráfego intenso, com tensão de 3,2 kPa, ocorreu redução na recuperação elástica para os teores de 1% e 2% de óleo de copaíba. No entanto, para o teor de 3%, houve um aumento na recuperação elástica em torno de 2,1%, indicando que, para essa porcentagem de adição, o ligante apresentou um melhor comportamento frente à tensão aplicada.

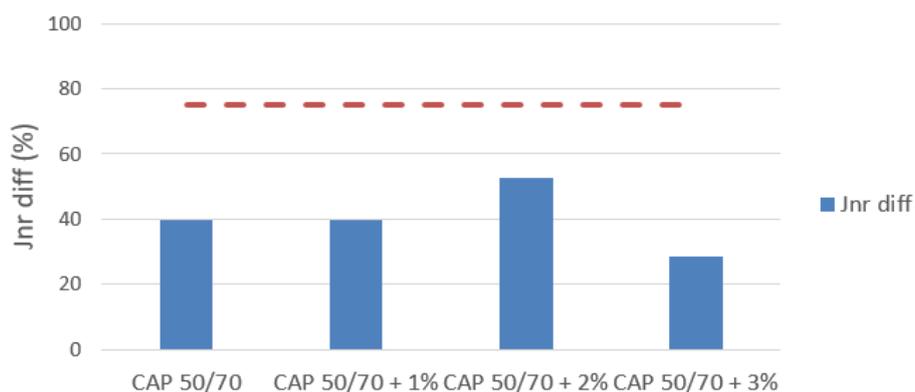
Figura 12 – Porcentagem de recuperação elástica para o CAP 50/70 e adições de óleo de copaíba



Fonte: Autoria Própria 2023.

Embora o teor de 3% não tenha aumentado significativamente a recuperação elástica, o fato de ter diminuído o valor do Jnr em comparação com o ligante puro é considerado positivo. A Figura 13 apresenta os resultados do Jnr diff para o ligante CAP 50/70 com diferentes teores de adição de óleo de copaíba.

Figura 13 – Jnr diff para amostras de CAP 50/70 e adições de óleo de copaíba



Fonte: Autoria Própria 2023.

Os resultados obtidos indicam que a adição de 1% e 2% do óleo de copaíba tornou o ligante mais sensível a mudanças de tensões inesperadas que podem ocorrer na superfície do pavimento. No entanto, esse aumento na sensibilidade não afetou o desempenho do ligante, uma vez que nenhum dos valores chegou próximo ao limite estabelecido por normas.

Por outro lado, para o teor de 3% de óleo de copaíba, houve uma redução significativa no valor do J_{nr} em comparação com o ligante puro, em torno de 10,9%. Isso indica que esse teor tornou o ligante menos sensível a mudanças de tensão, o que representa um comportamento melhor perante essas variações inesperadas.

Em resumo, a adição de óleo de copaíba nos teores de 1% e 2% não afetou negativamente o desempenho do ligante, mantendo-se dentro dos limites estabelecidos. Já o teor de 3% mostrou-se benéfico ao reduzir a sensibilidade do ligante a mudanças de tensão, proporcionando um melhor comportamento sob essas condições.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ligante asfáltico puro e os ligantes com adição de 1% e 2% de óleo de copaíba mantiveram constante a temperatura de PG antes e após o envelhecimento, tornando-os mais resistentes ao efeito da oxidação e preservando suas propriedades de deformabilidade e rigidez em altas temperaturas.

Em relação ao módulo complexo obtido antes do envelhecimento a curto prazo, o ligante puro apresentou um resultado superior aos demais ligantes, com aproximadamente 20 kPa, reduzindo continuamente com o aumento da temperatura. Após o envelhecimento, verificou-se que o ligante puro e o ligante modificado com 1% de óleo de copaíba apresentaram valores muito próximos, havendo uma redução com o incremento de temperatura.

Quanto ao parâmetro $G^*/\sin(\delta)$, que mede a resistência à deformação permanente do ligante asfáltico, observou-se que para os teores de 1% e 2%, que apresentaram o mesmo PG (64°C), o ligante com 2% de óleo de copaíba mostrou uma redução de 13% no valor de $G^*/\sin(\delta)$ em relação ao teor de 1%, indicando que este é mais deformável.

Em relação à variação da integridade do ligante (Parâmetro A), a adição do óleo de copaíba não demonstrou benefícios no aumento dos valores desse parâmetro para todos os teores estudados, indicando que o óleo não proporcionou melhoria na integridade do ligante asfáltico diante do acúmulo de danos. Já para o parâmetro B, que é um indicativo da sensibilidade do ligante ao aumento do nível de deformações, observou-se que a adição do óleo de copaíba foi benéfica, pois proporcionou uma redução na sensibilidade à variação do nível de deformação sob mudanças térmicas.

Para a compliância não recuperável, verificou-se que os ligantes adicionados com 1% e 2% de óleo de copaíba obtiveram valores superiores ao do ligante puro. Por outro lado, para a adição de 3%, foi verificada uma menor compliância em relação ao ligante puro, indicando que esse teor apresenta uma menor susceptibilidade à deformação permanente, o que é um resultado positivo para o uso dessa porcentagem de adição.

Com intuito de progredir com análise, sugere-se à análise da aplicação do óleo de copaíba em Revestimento Asfáltico Reciclado (RAP) a fim de se conhecer seus benefícios em relação a diminuição de temperatura de usinagem, compactação e de melhorias nos fenômenos de fadiga e deformação permanente.

REFERÊNCIAS

ÁGÚSTSSON, A. Fish oil in Icelandic road constructions: A case study of bituminous binder mixtures modified with bio-oil. 2014. Master of Science Thesis -KTH Civil and Architectural Engineering. 2014.

CARVALHO, Jeovanesa Régis. Avaliação de diferentes tecnologias de misturas asfálticas mornas com a incorporação de elevadas quantidades de material fresado. 2022. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

GAMA, D. A. Efeito da adição de polímeros reativo, não-reativo e ácido polifosfórico e suas combinações nas propriedades de ligantes asfálticos / Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

GONG, M.; ZHU, H.; PAULI, T.; YANG, J.; WEI, J.; YAO, Z. Evaluation of bio-binder modified asphalt's adhesion behavior using sessile drop device and atomic forcemicroscopy. *Construction and Building Materials*, v. 145, p. 42-51, 2017.

GUERRA, Thamires Dantas. Utilização do óleo de canola para redução das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

Hintz, C. (2012) Understanding Mechanisms Leading to Asphalt Binder Fatigue. Ph.D Thesis. University of Wis-consin - Madison, Madison.

MORAES, Thalita Maria Ramos Pôrto de. Utilização da cera de carnaúba como aditivo redutor de temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas. 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

NASCIMENTO T. C. B. Efeito dos envelhecimentos termo-oxidativo e foto-oxidativo sobre propriedades reológicas de ligantes asfálticos modificados. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SOUSA, Talita Miranda de. Estudo de misturas asfálticas mornas modificadas com adição da cera de abelha. 2020. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

TORRES, Paulo Roberto. Estudo de misturas asfálticas recicladas modificadas com a adição de óleo vegetal residual. 2020. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Ppgeca, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

WANG, H.; DEREWECKI, K. Rheological Properties of Asphalt Binder Partially Substituted with Wood Lignin. In: Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements. p. 977-986. 2013.

ANÁLISE DO SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO DAS ESTUFAS DA UFCG – CCTA

Vitória Ramalho Medeiros
vitoriaramalho538@gmail.com

Vinícius Lamark Lacerda Santos
vlamark38@gmail.com

José Ian Possidônio Ribeiro da Silva
ian89619@gmail.com

Prof^a. Orientadora Savana Barbosa Villar Gonçalves
savana_lelis@hotmail.com

Prof. Orientador Rodrigo Mendes Patrício Chagas
rmpchagas@gmail.com

RESUMO

Este estudo destaca a relevância do bombeamento de água no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), com foco na irrigação das estufas, uma área essencial para o desenvolvimento de pesquisas. O objetivo é compreender e fazer a verificação do sistema de irrigação por meio do estudo do comportamento do bombeamento, analisando e determinando a curva característica da bomba. Foi feita uma análise da área e dos

componentes deste sistema. Esta coleta de dados serve e servirá como amparo para futuras pesquisas, buscando uma otimização constante, que agrega sustentabilidade e economia.

Palavras-chave:

Bombeamento; Análise do Sistema; Balanço de energia; Ponto de Operação.

ABSTRACT

This study highlights the relevance of water pumping at the Center for Agro-Food Science and Technology (CCTA), focusing on greenhouse irrigation, an essential area for research development. The objective is to understand and verify the irrigation system by studying the pumping behavior, analyzing and determining the pump's characteristic curve. An analysis of the area and components of this system was carried out. This data

collection serves and will serve as support for future research, seeking constant optimization, which adds sustainability and savings.

Keywords:

Pumping; System Analysis; Energy balance; Operation Point.

INTRODUÇÃO



bombeamento de água é de extrema importância para o CCTA, Campus Pombal da Universidade Federal de Campina Grande, tendo em vista os vários processos e estudos que são necessários e primordiais para o campus. No presente trabalho o campo de estudo foi o sistema utilizado para irrigação das plantações nas estufas, importante alvo de estudo na área de Agronomia.

A fim de entender e verificar o sistema de irrigação do nosso campo de estudo, foi analisado o comportamento do sistema de bombeamento, coletando dados e aplicando cálculos, assegurando assim um resultado mais efetivo e condizente com os dados coletados.

Nesse sentido, com um sistema devidamente verificado e parametrizado, caminhos para estudos de otimização são abertos, havendo assim, possibilidade de melhorar a eficiência energética do mesmo, reduzir custos e ter suporte com futuros problemas que poderão aparecer no decorrer do uso.

Segundo Lindau (2023, p.4), a operação sustentável e eficiente dos sistemas de bombeamento de água deve ser vista em destaque principalmente pela possibilidade de operar os sistemas com reduzidos desperdícios energéticos.

Nesse contexto, as bombas são usadas nas instalações hidráulicas do campus, realizando sucção e recalque. Esse sistema é de grande valia para os pesquisadores do mesmo, uma vez que transporta a água do reservatório para as estufas, colaborando assim para uma otimização nesse processo de irrigação, facilitando e diminuindo o trabalho braçal dos alunos e professores.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente trabalho busca realizar a análise do bombeamento de água para as estufas do Campus da UFCG em Pombal (CCTA), a fim de mensurar e quantificar a real situação do sistema, verificando, possíveis imprevistos como a queda de produção das pesquisas no campo devido a utilização de um sistema de bombeamento de baixo rendimento, e incentivando a economia, visto que proporcionará um melhor estudo de equipamentos e peças que são realmente necessários para o sistema funcionar perfeitamente.

Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Analisar a situação atual das tubulações e acessórios da área de estudo;
- Coletar os dados necessários (diâmetros, comprimentos, perdas de carga) para servirem de base para cálculos de análise do sistema de irrigação da UFCG campus Pombal;
- Encontrar a curva característica da bomba e seu ponto de operação através da equação de balanço de energia.

REFERENCIAL TEÓRICO

O manejo da água e sua importância na sedentarização humana

A água é um bem indispensável e base primordial da existência da vida, e ocupa um posto irrevogável na cadeia de subsistência. A evolução dos seres humanos e sua posterior sedentarização sempre foi bastante condicionada à disponibilidade deste recurso. O manejo e a distribuição da água tornaram-se então foco de estudos e interesse. As pesquisas e o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento surgiram para sanar ou amenizar problemas que antes inviabilizaram a prosperidade de algumas regiões, principalmente aquelas onde a distribuição de água é irregular (OLAIA, 2012).

Partindo do pressuposto que a água é um bem finito e paralelamente essencial, é de extrema importância que sua distribuição ocorra de forma segura, econômica e responsável. Para que isso ocorra, a água percorre um longo caminho. São através dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), que

segundo Lousada, S., et al. (2019) se referem às infraestruturas capazes e responsáveis por fazer a extração, regulação da qualidade, e transporte da água até os meios urbanos e então distribuição até os consumidores finais. Esses sistemas geralmente atravessam percursos extensos, que variam em sua topografia e localização da fonte d'água, entre outros fatores que podem vir a dificultar a implantação do sistema.

Complexidades e particularidades dos projetos de Sistemas de Abastecimento de Água

Por apresentar complexidades únicas em cada projeto e por lidar com um bem tão inestimável quanto a água, fica clara a necessidade de se dimensionar um SAA que esteja diretamente relacionado à redução das perdas de água, que também geram conseqüentemente economias de energia e custo de transporte (OLAIA, 2012). Ou seja, os objetivos de um SAA são bastante claros. Eles envolvem basicamente atender a necessidade de consumo de uma determinada comunidade, utilizando custos operacionais mínimos, nos quesitos energia e manutenção (CUNHA, 2009).

Segundo a SABESP (2023), não existe um sistema com zero perdas de água, entretanto é possível, e recomendável, adotar medidas que minimizem esse nível. Essa questão está diretamente ligada às condições em que se encontram a infraestrutura e sua operação e manutenção. Dentre as principais ações para este combate, tem-se: gerenciamento de pressões, identificação de vazamentos não visíveis, reparo da infraestrutura em redes e ramais, e renovação de redes e ramais deteriorados.

A otimização como fator primordial na tomada de decisão e auxílio em favor da sustentabilidade

Para que um processo de otimização ocorra efetivamente, é necessária uma coleta de dados que compreenda as diversas etapas de um sistema de abastecimento, desde sua captação e adução até a distribuição da água. É necessária uma atenção constante em toda a totalidade do sistema. Um dos principais fatores para avaliar a eficiência de um sistema é justamente a quantidade de água não faturada, o volume de água que se perde ao longo do sistema sem chegar ao seu objetivo final de consumo. O controle de perdas pode então se classificar como um dos objetivos de um sistema bem otimizado, e conseqüentemente, se enquadra como uma medida sustentável (CARDOSO-GONÇALVES et al, 2016).

Em sistemas de abastecimento e distribuição antigos, onde manuais de manutenção e até mesmo projetos executivos são inexistentes, é necessário que haja um estudo e uma tomada de decisão para que a otimização do sistema atenda às demandas esperadas. A melhoria na performance do sistema pode partir de diversos fatores, como duplicação de trechos de tubulação, adição de válvulas ou

outros componentes, construção de novos reservatórios, análise das bombas empregadas, entre outros (VENTURINI et al, 2001).

Para que a melhor decisão seja definida, é preciso recolher dados que identifiquem quais as deficiências que mais estão a prejudicar um determinado sistema, e conseqüentemente gerando perdas de água e energia. Identificando e otimizando as características únicas de cada SAA, é possível combinar sustentabilidade, redução de custos e produtividade do sistema.

METODOLOGIA

Área de estudo

O setor de irrigação para as estufas (em destaque de vermelho na Figura 1) foi escolhido para a realização deste estudo, sendo o mesmo pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) – UFCG, localizado em Pombal – PB.

Figura 1 - Área de estudo.



Fonte: UFCG/CCTA, 2022.

Através da Figura 1 é possível ter uma visão geral do sistema de distribuição de água no campus. A variação de cores retrata os diferentes tipos de tubulações existentes.

A área foi escolhida por ser de extrema importância para o campus Pombal, já que atende às necessidades de alunos de diversos cursos, sendo o seu abastecimento fonte primordial para o desenvolvimento de pesquisas, principalmente voltadas para o curso de Agronomia.

Levantamento de dados e análise do setor

Limpeza da área, estaqueamento e medição do comprimento das tubulações

Para a identificação dos elementos existentes no sistema de abastecimento atual, recolhimento de informações técnicas, operacionais e administrativas foram realizadas visitas técnicas ao setor.

As informações colhidas para compor o levantamento de dados do sistema e, posteriormente, realizar a análise foram: comprimento e diâmetro das tubulações, desnível geométrico, características (potência, rotor, marca, voltagem) e quantidades das bombas, propriedades do fluido em transporte e acessórios envolvidos nos trechos de sucção e recalque.

O recolhimento de informações acerca do comprimento e diâmetro das tubulações ocorreu a partir de inspeções in loco. O percurso foi identificado com a ajuda dos funcionários responsáveis pela manutenção do sistema hidráulico do campus. A partir disso, foram colocadas estacas para guiar ao longo do trecho. Foram utilizadas trenas de 50 metros de extensão para cobrir o percurso e eventualmente trenas de 5 metros de extensão para menores distâncias, como pode ser visto nas figuras 2 e 3.

Figura 2 - Capinagem do local para posterior colocação das estacas-guia.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 3 - Medição da extensão das tubulações no local de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Identificação e levantamento dos acessórios

Também foi necessário fazer uma identificação dos acessórios presentes nas tubulações, identificando os trechos de recalque e sucção, para posteriormente utilizar nas equações de balanço de energia, identificando o valor das perdas de carga, como visto na figura 4 abaixo:

Figura 4 - Identificação e contagem dos acessórios das tubulações.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Foram identificadas diversas irregularidades ao longo do trecho analisado. Tubulações e acessórios desgastados, excesso de acessórios sem utilidade observada, desgaste do material das tubulações (PVC), tubulações de diferentes estados de conservação se conectando. Estes fatores podem ser observados nas figuras 5, 6 e 7 a seguir, e todos contribuem para o aumento da perda de carga e ineficiência do sistema.

Figura 5 - Excesso de conexões na bomba operante.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 6 - Tubulações conectadas por materiais com diferentes estados de conservação.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 7 - Acessório desgastado.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Uso do GEOFONE

Segundo Yamatec (2023), o geofone é um equipamento capaz de detectar vazamentos de água em tubulações pressurizadas, sendo estas no solo ou em paredes. Entre suas principais vantagens, se destacam o fato de não ser um método destrutivo e também o seu fácil manuseio.

O equipamento funciona rastreando os vazamentos através do microprocessador que analisa o som provocado pelo vazamento, tudo isso em tempo real, enquanto o operador é capaz de ajustar frequência e volume para conseguir identificar com maior clareza os sons (GLDS, 2018).

Para a continuidade do trabalho, foi lido o manual de instruções do Geofone que nos foi ofertado, da marca Yamatec, em parceria com a UFCG campus Campina Grande, contendo todas as informações básicas para operação e manuseio do equipamento, como visto na figura 8 a seguir:

Figura 8 - Acesso ao manual técnico do aparelho Geofone.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Para que se consiga extrair o melhor do equipamento, é preciso adaptar o ouvido aos ruídos. Os testes com o aparelho foram feitos em locais internos, como o banheiro do bloco de aulas da UFCG campus Pombal, e no local do estudo deste trabalho, no trecho das estufas, como mostrado na figura 9 a seguir:

Figura 9 - Realização dos testes com o aparelho.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O aparelho em si é composto basicamente por sensores de precisão e de haste por acionamento, conjunto de hastes, manômetro de pressão e fones de ouvido, como pode ser visto na seguinte figura 10:

Figura 10 - Maleta contendo todos os componentes do equipamento.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Após o período de testes e adaptação, foi realizado o trabalho de efetivamente buscar por possíveis vazamentos. Entretanto, não foi possível identificar nenhum tipo de vazamento detectado pelo aparelho.

RESULTADOS

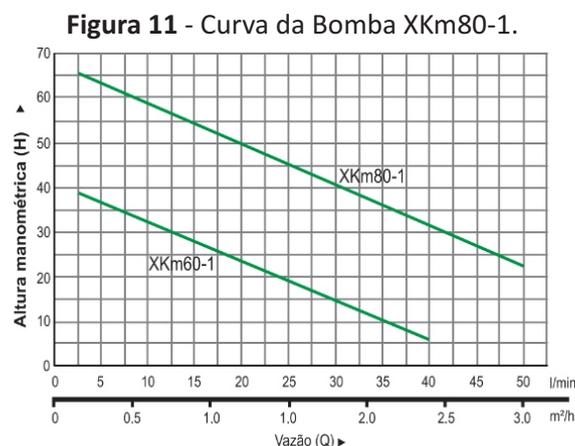
Os resultados obtidos no presente estudo, contemplaram apenas o sistema que abastece as estufas, sendo assim, ramificações ou redes paralelas desativadas, não foram levadas em consideração, portanto pesquisas posteriores que promovam o mapeamento do sistema de abastecimento do Campus, são imprescindíveis.

Com relação ao comparativo entre a rede de abastecimento das estufas por gravidade e por bombeamento, devido ao reservatório apresentar-se enterrado, e pela ausência de desníveis significativos, o sistema por bombeamento provou-se ser necessário para a situação atual.

Sendo assim, foi realizada a verificação do sistema atual de abastecimento de água das estufas feitas por bombeamento, utilizando as especificações características da bomba, e a aplicação do método do balanço de energia mecânica, para a obtenção do ponto de operação do sistema.

Curva característica da Bomba

Para a verificação do sistema e determinação do ponto de operação, foi necessário considerar a bomba QB-80, já instalada. O ponto de intersecção entre a curva da bomba, foi obtido através do manual técnico e da curva do sistema, além disso, pela dificuldade em se encontrar o manual técnico da bomba QB-80, a curva da bomba utilizada na pesquisa foi relacionada ao modelo XKm 80-1, que possui características similares a bomba QB-80.



Fonte: AMANCO, 2018.

Em que, T é a temperatura da água em °C, μ é a viscosidade dinâmica em Pa.s, ρ é a Massa específica em kg/m^3 , g é a aceleração da gravidade em m/s^2 , ϵ é a rugosidade da tubulação, P1 é a pressão no ponto inicial, P2 é a pressão no ponto final, Z1 é a altura ponto inicial, Z2 é a altura ponto final, DP é a diferença de pressão e DZ é a diferença de cota.

Os quantitativos com relação aos acessórios para determinação do coeficiente de perda de carga localizada estão presentes nas Tabela 2 e na Tabela 3, a seguir.

Tabela 2 - Coeficiente k para região de sucção.

Região de Sucção		
Acessórios	Qtd.	k
VÁLVULA de Pé com Crivo	1	2,5
Joelho de 90°	1	0,9
Luva	1	0
ENTRADA SUÇÃO	1	

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3 - Coeficiente k para região de recalque.

Região de Recalque		
Acessórios	Qtd.	k
Luva	7	0
Joelho de 90°	10	0,9
Luva de união soldável	2	0
Registro de gaveta	6	0,2
TE de passagem direta	5	0,6
TE de saída lateral	4	1,3
CURVA DE 90°	2	0,4
Entrada de Borda	3	1

Fonte: Autoria Própria.

Os comprimentos para as tubulações de recalque e sucção, serão observados na Tabela 4 abaixo:

Tendo os dados referentes às especificações técnicas da bomba, é possível dimensionar o sistema pelos métodos a seguir.

Ponto de operação pelo balanço de energia

O método do balanço de energia usufrui-se da equação de Bernoulli para realizar o somatório das energias atuantes na rede, e que serão apresentadas posteriormente neste tópico, além disso, serão apresentados alguns passos a serem seguidos para o dimensionamento do sistema.

1º Passo - Determinação das vazões

As vazões do sistema foram obtidas por meio do manual técnico da bomba Xkm-80 e apresentadas na Figura 11.

2º Passo - Determinação dos diâmetros da tubulação

Os diâmetros das tubulações foram recolhidos na pesquisa de campo, sendo iguais para todas tubulações do sistema, com valor equivalente à 32 mm.

3º Passo - Determinação das perdas de carga

Para a determinação das perdas de carga, distribuída e localizada, foram-se feitas a análise das regiões de recalque e sucção do sistema, sendo determinada a quantidade, tipos de conexões e seus respectivos coeficientes de perda de carga, além disso, foram medidos os comprimentos das tubulações, encontradas em campo.

Em posse desses dados, foi possível obter as perdas de carga junto ao balanço de energia, apresentado posteriormente no 4º passo.

Os dados do sistema, estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Dados do Sistema.

Dados do sistema (T=25°C)		
μ	8,90E-04	Pa.s
ρ	1000	Kg/m ³
g	9,81	m/s ²
ε	0,0000015	m
P1	-11772	Pa
P2	9806	Pa
DP	21578	Pa
Z1	-1,2	m
Z2	-1,8	m
DZ	-0,6	m

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Tubulações de Sucção e Recalque.

Região de Sucção		
Z1	1,2	m
SLs	1,5	m
Ds	0,032	m
SK	3,4	
Leq	6,11	m
Região de Recalque		
Z2	-1,8	m
SLr	120,61	m
Dr	0,032	m
SK	22,2	
Leq	26,4	m

Fonte: Autoria Própria.

Em que, SL é o somatório do comprimento da tubulação, D é o diâmetro da tubulação, SK é o somatório do coeficiente de perda de carga localizada e Leq é o comprimento equivalente.

4º Passo - Determinação da Altura Manométrica

As alturas manométricas foram determinadas por meio do balanço de energia mecânica fornecida pela Equação 1, na qual o somatório dos termos, obtidos através dos dados do sistema, das regiões de sucção e recalque, além das vazões características da bomba, fornecerá a altura manométrica. Energia Cinética + Energia Potencial + Energia de Pressão + Energia de Atrito = Calor - Trabalho.

$$\frac{1}{2} \Delta \rho u + \rho g \Delta h + \Delta P + \sum F = Q - W$$

Equação 1

Em que, ρ é a densidade, u é a velocidade, g a aceleração da gravidade, h a altura, P é a pressão, F as forças de atrito, Q é o calor e W o trabalho.

Diante das informações supracitadas, os valores correspondentes às variáveis vazão e altura manométrica para a determinação da curva do sistema foram obtidas pela Equação 1, através do somatório dos termos correspondentes ao balanço de energia, conforme a Tabela 5 na próxima página

Em que, termo 1 é a energia cinética, termo 2 é a energia potencial, termo 3 é a energia de pressão, termo 4 é a energia de atrito da tubulação de sucção, termo 5 é a energia de atrito da tubulação de recalque, termo 6 é a energia de atrito dos acessórios de sucção, e o termo 7 a energia de atrito dos acessórios de recalque.

Tabela 5 - Aplicação da Equação de Bernoulli no Sistema.

Vazão (m ³ /s)	Altura manométrica(mca)	termo1	termo2	termo3	termo 4	termo 5	termo 6	termo 7
0,00004167	1,6	0	-0,6	2,19959	0	0	0	0
0,000167	2,774	0	-0,6	2,19959	0,0035	1,1069	0,003588	0,0606
0,000333	5,557	0	-0,6	2,19959	0,0455	3,664	0,04639	0,2007
0,0004167	7,438	0	-0,6	2,19959	0,0672	5,4066	0,06845	0,2961
0,000583	12,127	0	-0,6	2,19959	0,1212	9,7489	0,12343	0,534
0,000667	14,915	0	-0,6	2,19959	0,1533	12,33	0,15611	0,67549
0,0009167	24,963	0	-0,6	2,19959	0,269	21,634	0,27391	1,1852

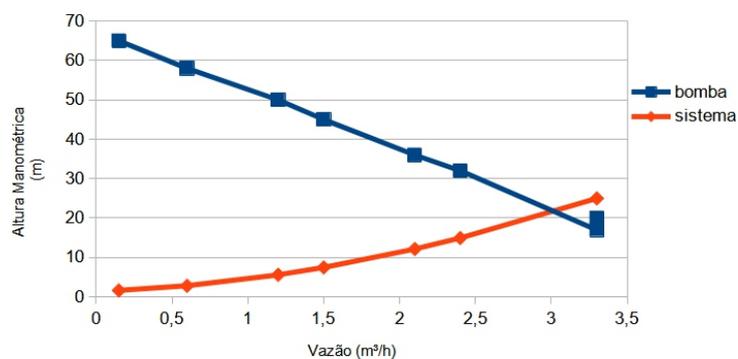
Fonte: Autoria Própria.

Dessa forma, o ponto de operação pode ser observado a partir da intersecção entre a curva da bomba e do sistema, observado no gráfico abaixo:

5º Passo - Determinação do Ponto de Operação

Com os valores correspondentes das vazões e alturas manométricas obtidas pelo balanço de energia, é possível determinar o ponto de operação da rede de abastecimento a partir da intersecção entre a curva da bomba e do sistema, observado na figura 12 abaixo:

Figura 12 - Gráfico do Ponto de Operação da Bomba pelo Balanço de Energia.
Gráfico Vazão x Altura Manométrica



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Sendo assim, pelo método do balanço de energia, o ponto de operação da bomba será de 3 m³/h e 22 m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados referentes ao método do balanço de energia, mostraram-se compatíveis com as capacidades disponíveis de vazão e altura manométrica apresentadas pelo manual técnico da bomba.

Apesar da falta de algumas informações do modelo utilizado, foi utilizado o manual técnico da bomba XKm 80-1, modelo similar ao utilizado no Campus, sem comprometer os resultados e as operações advindas dos cálculos utilizados.

Quanto à verificação do sistema, esse projeto se mostra muito importante, pois quantifica de fato como o sistema está sendo utilizado, o ponto de operação da bomba, e a vazão utilizada. Fatores estes importantes, para que num futuro, não ocorram empecilhos em resolver problemas relacionados ao sistema de bombeamento.

Por fim, é possível agora, os engenheiros Civil, Ambiental e Agronomia do campus CCTA conhecer e manusear da melhor forma o sistema utilizado para a irrigação de pesquisas, uma vez que a verificação permite a posse dos quantitativos, que promovem o bom funcionamento dos mesmos. O bombeamento de água até as estufas é de suma importância para o mesmo, e deve ser cuidado e zelado para evitar problemas e quedas de produção.

REFERÊNCIAS

AMANCO. Manual Técnico: Linha Amanco Bombas Periféricas. Mexichem Brasil, Janeiro/2018. 24 páginas.

CARDOSO-GONÇALVES, J. J. T.; TENTÚGAL-VALENTE, J. O. S. É. Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas. Projeto de Tese de Investigação, Programa Doutoral em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_11as/14_JGoncalves_GestaoOperacional.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

CUNHA, A. A. R. Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23072009-100529/publico/Alice_Cunha.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2023.

GLDS. Geofone: O que é e quais as vantagens. 2018. Disponível em: <<https://glds.com.br/o-que-e-geofone/#:~:text=O%20aparelho%20caça%20vazamento%20subterrâneo,de%20estruturas%20ou%20no%20subsolo.>>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

LINDAU, Marcos Gaudie Ley. Metodologia de diagnóstico energético em sistemas de bombeamento de água do setor de saneamento pela análise de indicadores de desempenho. 2023. Disponível em file:///C:/Users/josei/Downloads/Marcos%20Gaudie%20Ley%20Lindau_PROTEGIDO.pdf Acesso em 21 de Julho de 2023.

LOUSADA, S. et al. Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira. Bitácora Urbano Territorial, v. 29, n. 2, p. 89-98, 2019. Disponível em: <<http://www.scielo.org.co/pdf/biut/v29n2/0124-7913-biut-29-02-89.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

OLAIA, A. I. S. Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água através de Modelação Hidráulica. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente e Sanitária, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/8228/1/Olaia_2012.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. Publicações EESC-USP. São Carlos. 2006.

ROSSMAN, L. A. et al. Manual do Usuário: Epanet 2.0 Brasil. Tradução e Adaptação: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2009. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/epanet/manual_do_epanet_brasilpdf>. Acesso em: 3 Julho de 2023.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Controle de perdas. Disponível em: <<https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=37>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água - 3ª Ed - São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006 - 643 p.

Universidade Federal de Campina Grande (org.). Sistema de Distribuição de Água. 2022. Disponível em: <<https://ccta.ufcg.edu.br>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

VENTURINI, M. A. A. G.; BARBOSA, P. S. F.; LUVIZOTTO JR, E. Estudo de alternativas de reabilitação para sistemas de abastecimento de água. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/210.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2023.

YAMATEC. Manual para Caça Vazamento: orientações técnicas para a detecção de vazamentos de água não visíveis após o hidrômetro. 2. ed., 2022. 176 p.

AValiação Físico Química, Microbiológica e Sensorial de Queijo Minas Padrão com Vinho Tinto

Laina Pires Rosa
<https://orcid.org/0000-0002-2168-6860>

Leandra Cristina Crema Cruz
<https://orcid.org/0000-0002-3391-9705>

Douglas Henrique Pereira
<https://orcid.org/0000-0002-7700-4769>

RESUMO

O queijo Minas Padrão é um queijo brasileiro por excelência, sendo obtido pela coagulação enzimática do leite, possuindo características marcantes. O vinho é uma bebida muito apreciada mundialmente e quando consumido com alguns tipos de queijos podem formar uma excelente combinação. Queijos do tipo Minas Padrão foram produzidos por dois modos de produção, empregando vinhos tintos (suave, semi seco, seco). O diferencial entre os dois métodos de produção foi o momento da adição do vinho tinto nos quais proporcionaram colorações distintas aos produtos finais (branco acinzentado na parte externa e interna e roxo escuro na parte externa e creme esbranquiçada na parte interna). Foram realizadas análises físico-químicas (pH, umidade e gordura) e microbiológicas (coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. e *Staphylococcus aureus*) para caracterização e classificação dos diferentes queijos. A análise sensorial (teste de aceitação, intenção de compra e preferência) foi conduzida em uma única sessão, empregando o teste cego (ausência de informações das amostras). Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos dos queijos apresentaram dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente e literatura consultada. Os

queijos podem ser classificados como magros (23 a 25%) e de média a alta umidade (entre 40,9 a 42,9%). O pH final dos queijos não foram influenciados pelas diferentes graduações de açúcar presente nos vinhos tintos. O teste de preferência e a análise sensorial demonstraram que os queijos Minas Padrão com coloração roxo escuro e creme esbranquiçada foram os mais preferidos e aceitos pelas suas características sensoriais (cor, aroma, sabor, textura, aparência e impressão global), sendo o queijo com vinho tinto suave o mais escolhido. “Provavelmente comprariam” foram os resultados para o teste de intenção de compra para os queijos Minas Padrão com coloração roxo escuro e creme esbranquiçada. Os queijos com coloração branco acinzentado apresentaram maior índice de rejeição nos testes de aceitação, preferência e intenção de compra. Os resultados da presente pesquisa permitiram avaliar dois diferentes produtos lácteos, no qual atribuiu características de cor, sabor, aroma e aparência diferenciadas, alto valor agregado e com grande índice de aceitação pelos consumidores.

Palavras-chave:

Tecnologia de Alimentos; Análise Sensorial; Derivados Lácteos.

INTRODUÇÃO



queijo é um alimento comum na dieta humana, estando presente na maioria das classes sociais. No Brasil, os principais queijos produzidos são Mussarela, Prato, Minas, Ricota, Requeijão Cremoso e Provolone. Dentre esses queijos, o mais produzido está o queijo tipo Minas em suas duas variedades o Frescal e o Padrão (1). Basicamente, o diferencial entre os dois tipos de queijos são que o Minas Frescal tem alto teor de umidade e é consumido fresco, enquanto o Minas Padrão tem baixa umidade e necessita de uma etapa extra de prensagem e maturação para após ser consumido (2).

O queijo Minas Padrão é um queijo de origem brasileira e sua produção industrial foi iniciada por volta de 1880 na região da Mantiqueira no estado de Minas Gerais - MG, Brasil. Este tipo de queijo é obtido a partir de leite padronizado (3% de gordura) e pasteurizado, de massa crua, prensado mecanicamente e devidamente maturado por cerca de 20 dias (3). Sua tecnologia básica consiste na pré-fermentação do leite pasteurizado com fermentação mesófila, seguida de coagulação enzimática, sinérese dos grãos por mexedora e cozimento da massa até o ponto de corte, seguidos da enformagem, pré-prensagem e prensagem, salga e maturação (2,3). Seu diferencial com relação ao queijo Minas Frescal está na sua forma de produção, especificamente, nas etapas de prensagem e maturação antes de estar pronto para o consumo (4,5).

No Brasil, devido à grande produção de queijo Minas Padrão, torna-se interessante diversificar o produto por meio de acréscimos de novos condimentos e especiarias que têm o propósito de aumentar sua valorização no mercado consumidor. Novas tecnologias estão sendo utilizadas para formulações de queijos, nas quais ingredientes com diferentes combinações proporcionam características diferenciadas e marcantes ao produto final, como por exemplo, a utilização de vinhos, cervejas, conhaques, entre outras especiarias (2,6).

Entre os produtos que podem ser consumidos com queijo, o vinho merece destaque, pois é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica de suco de fruta natural madura, sendo a uva como principal fruta utilizada para sua produção. O vinho pode atribuir características únicas quando adicionados aos queijos durante o processamento, como por exemplo, o sabor e a coloração

diferenciadas quando se utiliza vinhos obtidos de uvas tintas, o que poderá vir a ser um atrativo para o consumidor (2-7). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar parâmetros físico-químicos, microbiológicos e sensoriais de seis diferentes queijos do tipo Minas Padrão produzidos por dois métodos de produção, empregando vinhos tintos suave, semi seco e seco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Produção de queijo Minas Padrão com vinhos tintos

No total, seis diferentes queijos do tipo Minas Padrão foram produzidos por dois modos de produção, os quais foram empregados vinhos tintos suave, semi seco, seco, ambos com teores alcóolicos iguais. O diferencial entre os dois métodos de produção foi o momento da adição do vinho tinto. No primeiro método (Processo 1), os vinhos foram adicionados diretamente no leite, antes do processo de coagulação, e no segundo método (Processo 2), os queijos pré-maturados foram imersos nos vinhos por um período de tempo (processo de patente de invenção em andamento).

Avaliação físico-química

A avaliação físico-química de cada amostra de queijo foi realizada ao final da maturação (20º dia) após a produção pelos seguintes métodos: pH realizada através da leitura direta em um pHmetro de bancada (mPA210, MS TecnoPan, Brasil); umidade realizada por um analisador de umidade infravermelho (IV200, Gehaka, Brasil) e gordura realizada pelo método de butirimetria (8). Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos como média com seus respectivos desvios padrões.

Avaliação microbiológica

As análises microbiológicas (coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. e *Staphylococcus aureus*) dos diferentes queijos foram realizadas no último dia de maturação (20º dia) com base na legislação em vigor (8).

Avaliação sensorial

A análise sensorial dos seis diferentes queijos foi realizada por meio dos testes de aceitação, intenção de compra e preferência em uma única sessão, utilizando o teste cego (ausência de informações das

amostras) (9). Para o teste de aceitação (cor, aroma, sabor, textura, aparência e impressão global) foi utilizando uma escala hedônica estruturada com nove pontos, onde nove correspondeu a “gostei muitíssimo” e um “desgostei muitíssimo”. Para a avaliação de intenção de compra foi utilizada uma escala hedônica de cinco pontos, onde cinco correspondeu “certamente compraria” e um “certamente não compraria”. E na avaliação de preferência entre as amostras de queijos, os participantes classificaram as amostras em ordem crescente de acordo com sua preferência (9,10).

Os critérios de inclusão dos participantes para a análise sensorial foram alunos e servidores da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus de Gurupi, de ambos os sexos, maiores de 18 anos e que possuíam o hábito de comer queijos. Os critérios de exclusão foram as pessoas com intolerância ou alergia ao leite bovino e seus derivados. Todos participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Processo CAAE Nº 08667619.8.0000.5519) antes do início da análise que teve durabilidade em média de 15 (quinze) minutos. A análise sensorial foi realizada em cabines individuais adaptadas no Laboratório de Biotecnologia de Alimentos e Bebidas da Universidade Federal do Tocantins (UFT) sob condições ambientais controladas (iluminação e temperatura). Foram oferecidos aos participantes, pequenas porções (± 10 g) das seis diferentes amostras de queijos, após o 20º dia de maturação, dispostos em copos plásticos descartáveis, codificados por três dígitos aleatórios. Um copo de água mineral também foi entregue para o enxague da boca entre uma amostra e outra e o formulário impresso para atribuição das notas. As amostras foram mantidas refrigeradas (entre 4 e 8°C) até o momento da análise para manter as características de consumo do produto.

Análise estatística

As diferenças estatisticamente significativas entre os resultados da avaliação sensorial (testes de aceitação e intenção de compra) foram determinadas pela análise de variância (ANOVA) utilizando o SISVAR e, em caso significativo as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* ao nível de 5% de significância. O teste de ordenação pelo teste de *Friedman*, com nível de 5% de significância foi empregado para a avaliação de preferência das amostras de queijos (10). Os resultados foram expressos como média dos valores originais com seus respectivos desvios padrões (DP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos queijos Minas Padrão com vinhos tintos

A Fig. 1 apresenta imagens de duas amostras dos queijos do tipo Minas Padrão com vinho tinto produzidos pelos Processo 1 (Fig. 1a) e Processo 2 (Fig. 1b). De acordo com a legislação vigente, as seis amostras de queijos podem ser classificadas como de massa macia e semidura, textura aberta, com poucas olhaduras mecânicas e com superfície lisa (Fig. 1). A coloração interna comum para este tipo

de queijo, segundo a legislação, é creme esbranquiçada (11). Diferentemente, os queijos produzidos pelo Processo 1 (Fig. 1a) apresentaram coloração, tanto interno como externa, branco acinzentado. Enquanto os queijos produzidos pelo Processo 2 (Fig. 1b) apresentaram uma coloração roxo escuro na parte externa e creme esbranquiçada na parte interna. Essas diferentes colorações dos queijos quando comparado ao do queijo Minas Padrão comum, é devido à adição dos vinhos tintos (suave, semi seco, seco) que proporcionaram produtos diferenciados e um alto valor agregado.

Fig. 1- Queijo Minas Padrão produzido pelo Processo 1 (a) e Processo 2 (b) após o período de maturação.



(a)



(b)

Fonte: Dos autores

Avaliação físico-química

A Tabela 1 apresenta as análises físico-químicas das seis amostras de queijo Minas Padrão com vinhos tintos. Verifica-se que o pH dos queijos situou-se na faixa entre 5,1 a 5,2 (Tabela 1). Também é observado que o pH dos queijos não foram influenciados pelas diferentes graduações de açúcar presente nos vinhos tintos (suave, semi seco ou seco). O pH possui grande importância na atividade das enzimas que atuam na maturação e na textura dos queijos. Quando o pH do queijo atinge valores muito baixos ($\text{pH} < 5,0$), a textura da massa tende a ser esfarelada, quebradiça, porém, quando se tem valores de pH muito alto ($\text{pH} > 6,0$), a textura torna-se mais elástica. Salienta-se também a importância do controle do pH, em que a redução do pH do queijo para valores entre 4,5 e 5,5 contribui para a prevenção do crescimento de bactérias patogênicas e da maioria dos microrganismos envolvidos na deterioração dos queijos (12,13).

Tabela 1. Análises físico-químicas das amostras de queijos Minas Padrão com vinhos tintos no 20º dia de maturação.

Parâmetro \ Vinho	Processo 1			Processo 2		
	Suave	Semi Seco	Seco	Suave	Semi Seco	Seco
pH	5,2 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,1 ± 0,0	5,2 ± 0,0	5,2 ± 0,1
Umidade (%)	40,9 ± 0,7	41,1 ± 1,1	42,2 ± 0,9	41,7 ± 0,5	42,7 ± 0,6	42,9 ± 0,5
Gordura (%)	24,3 ± 0,6	24,7 ± 0,6	25,3 ± 0,6	25,3 ± 0,6	24,3 ± 0,6	23,3 ± 0,6

A legislação vigente não determina um valor de pH ideal para este tipo de queijo. Na literatura foi encontrado dois trabalhos que relatam valores de pH próximos aos encontrados no presente trabalho para o mesmo tipo de queijo (sem adição de vinho) (Tabelas 1). Pereira et al. (2017) encontraram pH em torno de 5,1 em seu trabalho, onde determinaram a composição, participação e bioacessibilidade de cálcio em queijos Minas Padrão comerciais. Santis (2016), realizou a caracterização físico-química e sensorial do queijo Minas Padrão com baixo teor de sólido e gordura, em que substituiu o cloreto de sódio (NaCl) pelo cloreto de potássio (KCl) e aos 20 dias de maturação obteve um pH em torno de 5,4.

As diferentes amostras dos queijos obtiveram uma pequena variação no teor de umidade (entre 40,9 a 42,9%) (Tabela 1). Existem dois fatores de grande importância e estão diretamente relacionados com o teor de umidade final dos queijos: (i) o primeiro é o controle rigoroso do corte da massa no qual deverá obter grãos de tamanhos pequenos e uniformes e; (ii) o segundo fator é no momento da mexedura que é realizada após o corte da massa e tem o propósito de promover a dessoragem (retirada do soro) dos grãos (16). Fatores estes, que quando conduzidos de forma incorreta poderá acarretar vários fatores que poderão ser refletidos negativamente no produto final (2).

A umidade é um fator intrínseco que está diretamente ligada ao desenvolvimento do sabor e da textura, e principalmente no tempo de maturação dos queijos. Esses aspectos podem acarretar alterações nas características físico-químicas, microbiológicas e organolépticas no produto final (9-14). Além disso, o controle da temperatura e da umidade ao longo do período de maturação auxilia na redução da microbiota indesejável (14). Alguns autores (16,17) obtiveram umidade final para o mesmo tipo de queijo (sem adição de vinho) dentro desta mesma faixa encontrada no presente trabalho (Tabela 1).

Devido à falta de um Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ) destinado apenas para o queijo Minas Padrão se tem a dificuldade de sua caracterização. Mas de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os diferentes queijos (Tabela 1) apresentaram teor de umidade dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente para queijos no geral e podem ser classificados como queijos de média a alta umidade (11).

Em relação ao teor de gordura, a média obtida para todas as amostras de queijos analisadas foi entre 23 a 25% (Tabela 1). Provavelmente, essa variação está diretamente associada ao teor de gordura presente no leite, utilizado como matéria prima (padronizado com 3% de gordura) que é influenciado

por diversos fatores, como por exemplo, alimentação animal, clima e raça (2). Alguns autores (4-19) obtiveram valores entre 18,9 a 29,7% para o teor de gordura em queijos Minas Padrão, ou seja, valores aproximados ao encontrado no presente trabalho e segundo a legislação vigente podem ser classificados como queijos magros (11).

Avaliação microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas das amostras dos queijos Minas Padrão estão apresentados na Tabela 2. De modo geral, verifica-se ausência para *Salmonella* e ausência ou baixas contagens microbiológicas para coliformes totais, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* nas diferentes amostras de queijos. A legislação vigente estabelece ausência de *Salmonella* para qualquer tipo de alimento e as seguintes tolerâncias de microrganismos em queijos do tipo Minas Padrão: máximo de 5×10^3 (UFC) (g^{-1}) para Coliformes totais e *Escherichia coli* e contagem menor que 10^3 (UFC) (g^{-1}) para *Staphylococcus aureus* (27). Portanto, as amostras de queijos Minas Padrão com vinhos tintos estão de acordo com a legislação vigente (Tabela 2) e estão aptos para consumo. Além disso, verificam-se que os diferentes vinhos utilizados no processo de produção não interferiram na qualidade final dos novos produtos.

Tabela 2. Resultados das análises microbiológicas das diferentes amostras de queijos Minas Padrão com vinhos tintos (suave, semi seco e seco).

Parâmetro \ Vinho	Processo 1			Processo 2		
	Suave	Semi Seco	Seco	Suave	Semi Seco	Seco
Coliformes Totais [(UFC) (g^{-1})]	$1,5 \times 10^1$	$2,6 \times 10^1$	Ausência	Ausência	$3,1 \times 10^1$	Ausência
<i>Escherichia Coli</i> [(UFC) (g^{-1})]	Ausência	<10	Ausência	<10	<10	Ausência
<i>Salmonella sp.</i> (Ausência/Presença)	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
<i>Staphylococcus aureus</i> [(UFC) (g^{-1})]	$3,2 \times 10^1$	$2,1 \times 10^1$	$1,8 \times 10^1$	Ausência	Ausência	$1,3 \times 10^1$

Avaliação sensorial

Cento e três provadores não treinados participaram dos testes de aceitação, intenção de compra e preferência para as seis amostras de queijos do tipo Minas Padrão com vinhos tintos. Entre os participantes, 64% e 36% foram do sexo feminino e masculino, respectivamente, com faixa etária entre 18 a 25 anos (78%) e mais da metade apresentaram ensino superior incompleto (73%), decorrentes, em sua maioria, estudantes universitários. A frequência de consumo de queijos,

segundo relatos dos participantes, são: semanalmente (27%), quinzenalmente (21%), raramente (19%), mensalmente (11%) e diariamente (10%).

Teste de aceitação

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias das notas atribuídas pelos provadores para o teste de aceitação (cor, aroma, sabor, textura, aparência e impressão global) na qual avaliou as seis amostras de queijos do tipo Minas Padrão com vinhos tintos. Todas as características sensoriais avaliadas têm efeito significativo (valor- $p < 0,05$) com desvios relativamente pequenos (Tabela 3).

Tabela 3. Notas obtidas pelo teste de aceitação para os queijos Minas Padrão produzido

		Características Sensoriais (Média \pm DP)					
	Vinho Tinto	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Aparência	Impressão Global
P r o c e s s o 1	Suave	6,07 \pm 1,69 ^a	7,10 \pm 1,66 ^{ab}	6,30 \pm 1,83 ^a	7,14 \pm 1,50 ^a	6,22 \pm 1,67 ^a	6,55 \pm 1,58 ^a
	Semi Seco	6,19 \pm 1,68 ^a	6,99 \pm 1,45 ^{ab}	6,43 \pm 1,78 ^a	7,14 \pm 1,55 ^a	6,22 \pm 1,62 ^a	6,58 \pm 1,46 ^a
	Seco	6,02 \pm 1,63 ^a	6,52 \pm 1,78 ^b	5,81 \pm 2,09 ^a	6,70 \pm 1,88 ^a	6,10 \pm 1,80 ^a	6,37 \pm 1,70 ^a
P r o c e s s o 2	Suave	7,83 \pm 1,26 ^b	7,51 \pm 1,50 ^a	7,57 \pm 1,61 ^b	7,84 \pm 1,25 ^b	7,92 \pm 1,27 ^b	7,92 \pm 1,03 ^b
	Semi Seco	7,79 \pm 1,29 ^b	7,23 \pm 1,52 ^a	7,44 \pm 1,52 ^b	7,80 \pm 1,19 ^b	7,88 \pm 1,17 ^b	7,82 \pm 1,11 ^b
	Seco	7,86 \pm 1,31 ^b	7,29 \pm 1,63 ^a	7,57 \pm 1,68 ^b	7,73 \pm 1,32 ^b	7,73 \pm 1,38 ^b	7,87 \pm 1,19 ^b
	Valor-p	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*

^a Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de confiança.

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de confiança.

*Efeito significativo ao nível de 5% de confiança.

As maiores notas atribuídas pelos provadores ao parâmetro “cor” foram para as três amostras dos queijos do Processo 2 (entre 7,79 a 7,86), situando-se na faixa da escala hedônica entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”. Comparando essas notas, observa-se que a coloração do queijo produzido com vinho tinto seco (Processo 2) foi a mais atrativa (Nota 7,86). Verifica-se também que os três queijos do Processo 2 não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram com relação às amostras dos queijos produzidos pelo Processo 1, que obtiveram notas entre 6,07 a 6,19 (“gostei ligeiramente”) (Tabela 2). A cor dos alimentos é uma característica importante, ocorrendo a

percepção nos primeiros 90 segundos de observação. Além disso, dependendo da cor do queijo, satisfatória ou não, podem influenciar na aceitação das outras características sensoriais (20,21).

Embora não tenha diferenças significativas para os queijos do Processo 2, verifica-se que a maior nota atribuída ao “aroma” foi para o queijo com vinho tinto suave (7,51), sendo classificada na escala hedônica como “gostei moderadamente” (Tabela 3). Como os processos de produção (Processos 1 e 2) dos queijos foram diferenciados do habitual, geralmente elaborados apenas com leite de vaca, verificou-se que alguns participantes comentaram nas fichas da avaliação sensorial que o aroma estava mais acentuado para os queijos do Processo 2. Provavelmente, a fina camada de coloração roxo escuro na parte externa dos queijos do Processo 2 (Fig. 1b) favoreceu a fixação do aroma do vinho ao produto final. Fato este que favoreceu a obtenção de maiores notas para os atributos “cor” e “aroma” para os queijos do Processo 2 (Tabela 3). Diferentemente ao Processo 1 (Fig. 1a) que houve uma “diluição” do vinho no leite durante o processamento, mascarando o aroma natural do vinho quando misturado ao leite.

O “sabor” dos queijos produzidos pelo Processo 2 diferiram dos queijos do Processo 1, sendo as maiores notas (entre 7,44 a 7,57) para os queijos do Processo 2, classificados segundo a escala hedônica como “gostei moderadamente” (Tabela 3). Certamente, o momento diferenciado da adição do vinho tinto durante o processamento dos queijos tenha influenciado também neste parâmetro, assim como nos parâmetros anteriores avaliados (“cor” e “aroma”). Neste caso, a concentração de vinho tinto na parte superficial dos queijos do Processo 2 proporcionou sabores mais acentuados e perceptíveis do vinho ao produto final.

Um fato de grande importância, foi que alguns participantes da análise sensorial perceberam um leve amargor nos queijos do Processo 1. Provavelmente, a mistura do vinho ao leite em conjunto com a temperatura no processamento proporcionou esse leve amargo no produto final que para alguns provadores foram perceptíveis, enquanto para outros não. O sabor é definido como uma experiência mista, mas unitária de sensações olfativas, gustativas e táteis percebidas durante a degustação. Além disso, produtos químicos são detectados por células especializadas, sendo percebido, principalmente, através dos sentidos do gosto e olfato, que por sua vez são influenciados pelos efeitos táteis, térmicos e dolorosos (23,24).

De acordo com a produção dos queijos (Processos 1 e 2) e independentemente do tipo de vinho tinto utilizado (suave, semi seco e seco), a “textura” dos queijos do Processo 2 foram as mais escolhidas pelos provadores, com médias acima de 7,7 (gostei moderadamente) (Tabela 3). O queijo do Processo 1 com vinho tinto seco foi o que recebeu a menor nota (6,7) para a “textura”, correspondente à “gostei ligeiramente”.

A textura é o conjunto de todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos e é a principal característica percebida pelo tato. Além disso, é um parâmetro que é influenciado pelo pH, pois as reações químicas que são catalisadas por enzimas proveniente do coalho e da microbiota presente dependem exclusivamente do pH (24,25). Este fato é verificado no pH final das amostras de queijos

(Tabela 1), no qual a adição dos vinhos tintos proporcionou valores de pH adequados para obtenção de queijos com texturas aceitáveis.

Com relação ao parâmetro sensorial “aparência”, os queijos do Processo 2 foram os que apresentaram as maiores notas, variando entre 7,73 a 7,92 (“gostei moderadamente”) (Tabela 3 e Fig. 1b). Com médias entre 6,1 a 6,22 (“Gostei ligeiramente”) os queijos do Processo 1 foram os que chamaram menos atenção com relação à “aparência” (Tabela 3 e Fig. 1a). Assim como a cor, a aparência de um alimento é o primeiro contato do consumidor, na qual está relacionada à forma natural ou comercial consagrada culturalmente e, são associadas às reações pessoais de aceitação, indiferença ou rejeição (20,24). Este fato é observado na Tabela 1 quando se comparam os resultados de ambos os parâmetros, obtendo-se maior aceitação para a “cor” e a “aparência” dos queijos do Processo 2. Além disso, a aparência dos alimentos refere-se às propriedades visíveis do produto como aspecto, cor, brilho, forma, características de superfície e do interior de um alimento (cor e a uniformidade) (26). Estas propriedades visíveis das amostras podem ser observadas na Figura 1, no qual o Processo 2 (Fig. 1b) proporcionou uma coloração diferenciada e mais atrativa que os queijos do outro processo (Fig. 1a). O contraste entre a coloração roxo escuro e creme esbranquiçada dos queijos do Processo 2 (Fig. 1b) provavelmente chamou mais a atenção dos participantes do que a coloração branca acinzentada dos queijos do Processo 1 (Fig. 1a). Fato que poderá estar relacionado com a familiarização com a coloração creme esbranquiçada comum para os queijos Minas Padrão. Neste contexto, verifica-se que a coloração branca acinzentada dos queijos do Processo 1 não contribuiu para uma boa aparência aos produtos finais e que a coloração diferenciada (parte externa) e ao mesmo tempo comum (parte interna) como para os queijos deste tipo proporcionou maior aceitação da “aparência” para os queijos do Processo 2.

Os queijos elaborados pelo Processo 2 foram os preferidos com relação à “impressão global” dentre as amostras avaliadas. As notas de aceitação foram entre 7,82 a 7,92 (“gostei moderadamente”), no qual o queijo com vinho tinto suave se destacou com a maior nota (Tabela 3). Para Silva (2007) a impressão global consiste em uma nota geral na qual é atribuída como a primeira impressão causada pelo produto, sem relação com as outras notas dos atributos avaliados. Porém, verifica-se uma forte relação entre a impressão global com os demais atributos avaliados na análise sensorial, pois os queijos que mais se destacaram para todos os outros atributos foram os queijos do Processo 2.

Neste contexto, verifica-se que os queijos produzidos pelo Processo 2 foram os que receberam as melhores notas, sendo o queijo com vinho tinto seco com a melhor nota para a “cor” (7,86), enquanto as melhores notas para “aroma” (7,51), “textura” (7,84), “aparência” (7,92) e “impressão global” (7,92) foram para o queijo com vinho tinto suave. Para o parâmetro “sabor” os queijos com vinho suave e seco receberam as melhores notas (7,57). Portanto, os mais preferidos na análise sensorial foram os queijos produzidos pelo Processo 2 com vinho tinto suave e com vinho tinto seco.

Intenção de compra

A Tabela 4 apresenta as médias com seus respectivos desvios padrões (DP) para a análise de intenção de compra, efetuado juntamente com o teste de aceitação dos queijos Minas Padrão com vinhos tintos (suave, semi seco e seco). Os queijos dos Processos 1 e 2 diferiram entre si pelo teste de *Tukey* (Tabela 4) mas não diferiram entre os diferentes vinhos tintos (seco, semi seco e suave).

Tabela 4 - Notas obtidas pelo teste de intenção de compra para os queijos Minas Padrão produzidos pelo Processo 1 e 2 com vinhos tintos (seco, semi seco e suave)

	Vinho Tinto	Intenção de Compra
P r o c e s s o 1	Suave	2,93 ^a ± 1,11 ^a
	Semi Seco	2,72 ^a ± 1,29 ^a
	Seco	2,93 ^a ± 1,16 ^a
P r o c e s s o 2	Suave	4,28 ^b ± 0,92 ^b
	Semi Seco	4,10 ^b ± 1,29 ^b
	Seco	4,11 ^b ± 1,08 ^b
	Valor-p	0,000*

^a Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey*, ao nível de 5% de confiança.

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey*, ao nível de 5% de confiança.

*Efeito significativo ao nível de 5% de confiança.

As menores notas para a intenção de compra foram atribuídas para os queijos do Processo 1 (entre 2,72 e 2,93), sendo classificado na escala hedônica como “provavelmente não compraria” (Tabela 4). Uma das principais queixas descritas no formulário pelos provadores foram a detecção de um leve amargor nos queijos do Processo 1. Fato provavelmente ocorrido pela adição dos vinhos tintos (seco, semi seco e suave) durante o processo de produção, formando algum composto químico indesejável responsável pelo amargor no produto final.

As maiores notas de intenção de compra foram atribuídas para os queijos do Processo 2 (entre 4,10 e 4,28), sendo classificados na escala hedônica como “provavelmente compraria” (Tabela 4). Dentre os três queijos produzidos neste processamento o que recebeu a maior nota foi o queijo com vinho tinto suave (4,28). Esta preferência para o queijo do Processo 2 com vinho tinto suave também foi observada no teste de aceitação, no qual foram atribuídas as melhores notas para a maioria dos parâmetros avaliados (“aroma”, “textura”, “aparência”, “sabor” e “impressão global”) (Tabela 3 e Fig. 1b). As características sensoriais como sabor, textura e cor de um produto alimentício são as principais determinantes para a sua aquisição, consumo, aceitação e preferência por diferentes faixas etárias dos consumidores (28).

Como se trata de produtos que ainda não existem no mercado consumidor, a intenção do presente trabalho foi verificar a aceitação e intenção de compra dos diferentes queijos Minas Padrão com vinhos tintos (seco, semi seco e suave). E de acordo com os resultados obtidos no teste de intenção de compra, verificou-se que apenas os três queijos produzidos pelo Processo 2 foram os mais aceitos, ou seja, os queijos submersos nos vinhos (suave, semi seco ou seco) agradaram a maioria dos provadores.

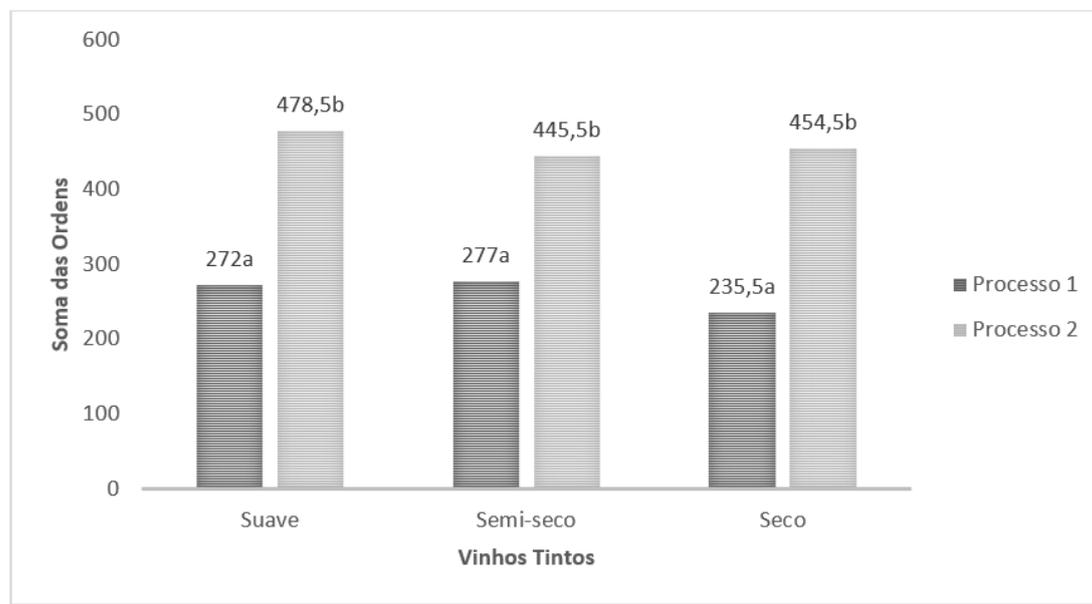
Esses resultados positivos para a intenção de compra podem estar relacionados ao fato da alta familiaridade com produtos do mesmo seguimento, pois a maioria dos participantes (69%) consomem algum tipo de queijo pelo menos uma vez ao mês. Neste trabalho, os queijos submersos em vinho foram classificados como “certamente comprariam” os produtos se fossem comercializados.

Preferência

A Fig. 2 apresenta o teste de ordenação de preferência dos diferentes queijos Minas Padrão produzidos pelos Processos 1 e 2 com a adição de vinhos tintos. Os resultados foram avaliados em ordem crescente da amostra de queijo menos preferida até a amostra mais preferida e são representadas pelos somatórios, onde as maiores somas representam as amostras dos queijos com maior índice de preferência.

Os queijos que apresentaram maiores índices de preferência foram os do Processo 2 com a adição de vinho tinto suave, semi seco e seco (entre 445,5 e 478,5), sendo a maior soma de ordens para o queijo Minas Padrão com vinho suave (Fig. 2). Estes resultados estão de acordo com os testes de aceitação (Tabela 3) e intenção de compra (Tabela 4), uma vez que os queijos com vinho suave e seco apresentaram maiores aceitação, quando comparada com o queijo com vinho tinto semi seco. Os queijos produzidos pelo Processo 1 apresentaram maior índice de rejeição (entre 235,5 a 267,0). Estes resultados também estão de acordo com o teste de aceitação (Tabela 3) e intenção de compra (Tabela 4), os quais apresentaram as menores notas para os queijos do Processo 1 em todos os parâmetros analisados.

Fig. 2- Teste de ordenação de preferência para os queijos Minas Padrão produzidos pelo Processo 1 e 2 com vinhos tintos (seco, semi seco e suave).



^{ab} Ordens seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de *Friedman*, ao nível de 5% de confiança.

Os queijos que apresentaram maiores índices de preferência foram os do Processo 2 com a adição de vinho tinto suave, semi seco e seco (entre 445,5 e 478,5), sendo a maior soma de ordens para o queijo Minas Padrão com vinho suave (Fig. 2). Estes resultados estão de acordo com os testes de aceitação (Tabela 3) e intenção de compra (Tabela 4), uma vez que os queijos com vinho suave e seco apresentaram maiores aceitação, quando comparada com o queijo com vinho tinto semi seco. Os queijos produzidos pelo Processo 1 apresentaram maior índice de rejeição (entre 235,5 a 267,0). Estes resultados também estão de acordo com o teste de aceitação (Tabela 3) e intenção de compra (Tabela 4), os quais apresentaram as menores notas para os queijos do Processo 1 em todos os parâmetros analisados.

O teste de *Friedman* demonstrou estes resultados, no qual os queijos do Processo 1 diferiram dos queijos do Processo 2 (valor- $p < 0,05$), com maior índice de preferência para o queijo do Processo 2 com vinho tinto suave.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados para as análises físico-químicas e microbiológicas dos diferentes queijos Minas padrão com vinhos tintos (suave, semi seco e seco) estão de acordo com a literatura pesquisada e padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente. Ambos os queijos foram classificados com consistência semi-dura tendendo a macia, semi-gordo e de media umidade. A análise sensorial e os testes de intenção de compra e preferência demonstraram que os queijos Minas Padrão com coloração roxo escuro na parte externa e creme esbranquiçada na parte interna foram os mais aceitos pelas suas características sensoriais (cor, aroma, sabor, textura, aparência e impressão global). Os resultados obtidos na presente pesquisa indicaram grande aceitação de um dos produtos, demonstrando ser uma alternativa para a implantação de um novo produto lácteo no mercado consumidor, proporcionando além de um produto diferenciado, um alto valor agregado.

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.” A Universidade Federal do Tocantins – UFT, Campus de Gurupi, pela disponibilidade de sua infraestrutura.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não há nenhum tipo de conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Nascimento BMS do. Desenvolvimento e caracterização de queijos Coalhos maturados: com leites caprino, bovino e misto [Tese]. João Pessoa (PB), Universidade Federal da Paraíba; 2017.
2. Furtado MM, Lourenço Neto JPM. Tecnologia de Queijos: Manual técnico para a produção industrial de queijos. 1ª ed. Dipemar, São Paulo; 1994.
3. Rosa LP. Desenvolvimento, Produção e Avaliação Sensorial do Queijo Minas Padrão com diferentes vinhos tintos [Dissertação]. Gurupi (TO): Universidade Federal do Tocantins, 2020.
4. Santos TG. Queijo Minas Padrão com reduzido teor de sódio: Composição e caracterização sensorial [Dissertação]. Londrina (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
5. Perry KSP. Queijos: Aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. Química Nova. 2004; 27 (2): 293-300.1. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422004000200020>
6. Silva FR, Santana CM, Melo WF, Talabera GG, Sarmiento WE, Sobrinho WS et al. Conservação e controle de qualidade de queijos: Revisão. PUBVET. 2017; 11 (4): 333-41. <http://www.pubvet.com.br/artigo/3752/conservaccedilatildeo-e-controle-de-qualidade-de-queijos-revisatildeo>
7. Da Silva, V. B.; Da Costa, M. P.; De Carvalho Delfino, N. Aceitabilidade e intenção de compra do queijo de coalho de cabra temperado com cachaça. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, 2017; 72 (3): 121-30. <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v72i3.567>
8. Brasil. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Instrução Normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003, Brasília, (2003).
9. Spadoti LM, Dornellas JRF, Roig SM. Avaliação sensorial de queijo prato obtido por modificações do processo tradicional de fabricação. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2005; 25 (4): 705-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=395940076013>
10. Lino, D. L. et al. Desenvolvimento e análise sensorial de bebida láctea de jamelão. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2020; 1 (4): 63-77. <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/alimentos/article/view/1536>

11. Brasil. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO -MAPA. Portaria nº146 de 07 de março de 1996, Brasília (1996).
12. Fox PF, Lucey JA, Cogan TM. Glycolysis and related reactions during cheese manufacture and ripening. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1990; 29 (4): 237– 53. <https://doi.org/10.1080/10408399009527526>
13. Louvatel, K.; Degenhardt, R. Caracterização bromatológica de queijos coloniais produzidos no distrito de Santa Lúcia, município de Ouro, SC. *Jornada Integrada em Biologia*, 2016; 37–46. <https://unoesc.emnuvens.com.br/jornadaintegradaemblogia/article/view/1030>
14. Pereira TMF, De Góis VA, Soares KMP, De Souza LB, De Sousa JÁ. Staphylococcus aureus e Salmonella sp. em queijos de coalho artesanais produzidos em São Rafael, Rio Grande do Norte. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 2017; 12 (2);358–61. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i2.4829>
15. Santis VBG. Queijo Minas Padrão com baixo teor de sódio e gordura: caracterização físico-química e sensorial [Dissertação]. Londrina (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.
16. Soares DB, Monteiro GP, Fonseca BB. et al. Análise sanitária e físico-química e adequação bacteriológica do queijo minas artesanal produzido em duas propriedades. *Ciência Animal Brasileira*, 2018; 19: 1–13. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-36499>
17. Fernandes LE. Desenvolvimento de Tecnologia de Queijo Tipo Minas Artesanal da Microrregião do Campo das Vertentes para produção industrial com emprego de leite pasteurizado [Dissertação]. Juiz de Fora (MG): Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.
18. Chaves ACSD, Monteiro RP, Freitas SC de, Oliveira AH, Takeiti CY. Características físicas e químicas de queijo minas do Serro com diferentes períodos de maturação. *Anais XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, ; X Cigr Session IV International Technical Symposium, 10, 24 a 27 de Outubro de 2016, Gramado (RS), 2016. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1057868>
19. Furtado, M. M. Quesos Típicos de Latinoamérica. 2 ed. São Paulo: Fonte Comunicações; 2005.
20. Costa, S. S. Filmes de fécula de mandioca e glicerol, reforçados com nanocelulose e ativados com própolis vermelha [Dissertação]. Salvador (BA): Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013
21. Alcará, M. S. Desenvolvimento e avaliação sensorial de queijo de kefir [Monografia]. Gurupi (TO): Universidade Federal do Tocantins, 2019.
22. Moraes LV. Estudo dos defeitos de cor em queijos de ovelha e cabra laborados com leite cru [Dissertação]. Portugal, Escola Superior Agrária Instituto Politécnico de Castelo Branco, 2019.

23. Sobral D, Costa RGB, De Paula JCJ, Teodoro VAM, Moreira GMM, Pinto MS. Principais defeitos em queijo Minas artesanal: uma revisão. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 2017; 72 (2): 108-20. <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v72i2.600>
24. Teixeira LV. Análise sensorial na indústria de alimentos. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 2009; 366 (64); 12-21. Disponível em <https://revistadoilct.com.br/riilct/article/view/70>
25. Sousa AZB, Abrantes MR, Sakamoto SM, Silva JBA, Lima PO, Lima RN et al. Aspectos físico-químicos e microbiológicos do queijo tipo coalho comercializado em estados do nordeste do Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico*, 2014; 81 (1): 30–5. 2. <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572014000100006>
26. Lutz, Instituto Adolfo. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico Químicos para Análise de alimentos. 4ª ed. São Paulo, 2008.
27. Brasil. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Brasília, 2001.
28. Rodrigues JRP, Da Silva MC, Souza ÁPDÁ, De Lima Santos JK, Chinellate GCB. Avaliação sensorial e intenção de compra de queijo minas frescal trufado com goiabada. *Anais III Congresso Internacional Das Ciencias Agrárias COINTER-PDVAGRO*, 2018. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvagro/uploadsAnais/AVALIA%C3%87%C3%83O-SENSORIAL-E-INTEN%C3%87%C3%83O-DE-COMPRA-DE-QUEIJO-MINAS-FRESCAL-TRUFADO-COM-GOIABADA.pdf>
29. Oliveira TA, Silva ND. Elaboração de queijo meia cura com maturação acelerada, e imersão em bebidas alcoólicas. *Intellectus*, 2015; 26 (1): 58-75. Disponível em: <http://www.revistaintellectus.com.br/ArtigosUpload/30.321.pdf>

ESTUDO DE CASO: INOVAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE BEBIDAS GASEIFICADAS SABORIZADAS NATURALMENTE

Bianca Pazinato
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de engenharia de alimentos

Bianca Ceccherini
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de engenharia de alimentos

Vanessa Eiko Kawasaki
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de engenharia de alimentos

Carmen Torres Guedes
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de engenharia de alimentos

Grasiele Scaramal Madrona
Universidade Estadual de Maringá
Departamento de engenharia de alimentos
gsmadrona@uem

RESUMO

O desenvolvimento de produtos inovadores é de grande interesse para a indústria de alimentos, assim este trabalho teve como objetivo desenvolver uma bebida gaseificada com sabor natural utilizando frutas como manga, laranja e melancia, além de menta e canela como ingredientes adicionais como uma alternativa aos refrigerantes industriais. O processo de elaboração das bebidas envolveu a extração do suco da fruta, a adição e mistura dos ingredientes e posteriormente a carbonatação. Foram elaboradas duas formulações com diferentes sabores (manga, laranja e hortelã – F1 e melancia, laranja e canela – F2) e avaliadas quanto a aceitação sensorial e pesquisa de mercado. Na pesquisa de mercado, a bebida foi

considerada saudável pelos participantes, devido ao uso de ingredientes naturais e sem adição de conservantes ou corantes artificiais. As bebidas foram bem aceitas (médias acima de 7,0) e não apresentaram diferença quanto aos atributos de cor, sabor, aroma e textura. A bebida sabor melancia (F2) apresentou maior intenção de compra indicando ser uma opção relevante e inovadora para o mercado de bebidas, promovendo escolhas mais conscientes e recompensas para a saúde dos consumidores.

Palavras-chave:

Suco Carbonatado; Frutas Tropicais; Propriedades Nutricionais; Análise Sensorial.

ABSTRACT

The development of innovative products is of great interest to the food industry, so this work aimed to develop a carbonated drink with a natural flavor using fruits such as mango, orange and watermelon, as well as mint and cinnamon as additional ingredients as an alternative to soft drinks. industrial. The process of preparing the drinks involved extracting the juice from the fruit, adding and mixing the ingredients and then carbonating. Two formulations with different flavors were developed (mango, orange and mint – F1 and watermelon, orange and cinnamon – F2) and evaluated for sensory acceptance and market research. In market research, the drink was considered healthy by

participants, due to the use of natural ingredients and no added preservatives or artificial colors. The drinks were well accepted (averages above 7.0) and showed no difference in terms of color, flavor, aroma and texture. The watermelon-flavored drink (F2) showed greater purchase intention, indicating that it is a relevant and innovative option for the beverage market, promoting more conscious choices and health rewards for consumers.

Keywords:

Carbonated Juice; Tropical fruits; Nutritional Properties; Sensory analysis.

INTRODUÇÃO



mercado de bebidas tem experimentado um crescimento notável no mundo todo abrangendo duas categorias principais: bebidas alcoólicas e não alcoólicas. No grupo das bebidas alcoólicas existe uma variedade de opções como uísques, cervejas, vinhos e entre outros. Já no grupo das bebidas não alcoólicas estão os sucos, cafés, refrigerantes e chá. Dentre os dois grupos (bebidas alcoólicas e não alcoólicas), os refrigerantes carbonatados são os mais consumidos pela população devido ao seu apelo refrescante (Uzuner & Cekmecelioglu, 2019). A carbonatação e a combinação de sabores variados conferem uma sensação efervescente que agrada ao paladar, tornando os refrigerantes carbonatados uma escolha popular para saciar a sede e desfrutar de momentos de relaxamento (Abdel-Rahman et al., 2019; Barker et al., 2021; Carstens et al., 2002).

Com o crescimento contínuo desse ramo de alimentação, surge uma preocupação crescente em relação à saudabilidade desses produtos. A alta concentração de açúcares adicionados, sódio e aditivos tem sido associada a problemas de saúde generalizados na população, despertando a necessidade de produzir alternativas nutritivas e saudáveis utilizando matérias-primas naturais (Zhang et al., 2023). Nesse contexto, os sucos de frutas carbonatados ou não, surgem como uma excelente opção para substituir os refrigerantes tradicionais no mercado. Os sucos de frutas são ricos em compostos antioxidantes, que desempenham um papel fundamental na promoção da saúde e bem-estar, contribuindo com uma dieta mais equilibrada (Scutaraşu et al., 2021; Tanguler & Sener, 2022; Todaro et al., 2023).

Grande parte das frutas tropicais como manga, laranja e melancia são ricas em nutrientes como antioxidantes, vitaminas, fibras alimentares, minerais e compostos bioativos (Adedeji & Ezekiel, 2020). A manga possui propriedades antidiabéticas, anti-hiperlipidêmicas e antiaterogênicas e o seu suco vem sendo aplicado no desenvolvimento de bebidas com alegação funcional gerando bom resultados de aceitabilidade sensorial (Adebayo-Tayo et al., 2021; Bao et al., 2021; Shah et al., 2010). Já a melancia e a laranja têm uma facilidade de processamento graças ao seu elevado teor de água (como todas as frutas), contribuindo assim para sua utilização em bebidas (Azeredo et al., 2016).

No entanto, a conservação desses sucos tem sido um desafio para a indústria de alimentos que tem utilizado muitas vezes o tratamento térmico para inibir o crescimento microbiano presente. Porém, a utilização de calor pode afetar as propriedades nutricionais, o que desafia a indústria na produção de bebidas naturais e nutritivas (Braddock & Goodrich, 2002).

O uso de dióxido de carbono tem sido utilizado para inibir o crescimento microbiano em refrigerantes (Azeredo et al., 2016), e a sua utilização em suco de maçã não foi somente positiva contra microrganismo, mas também na preservação da cor e outros fatores físico-químicos, segundo os autores o que torna a carbonatação uma técnica eficaz na conservação da vida útil de sucos de frutas (Park et al., 2020). Pensando nisso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver e avaliar sensorialmente duas formulações de bebida carbonatada e saborizada naturalmente com frutas e especiarias como alternativa para o consumo de refrigerantes tradicionais.

METODOLOGIA

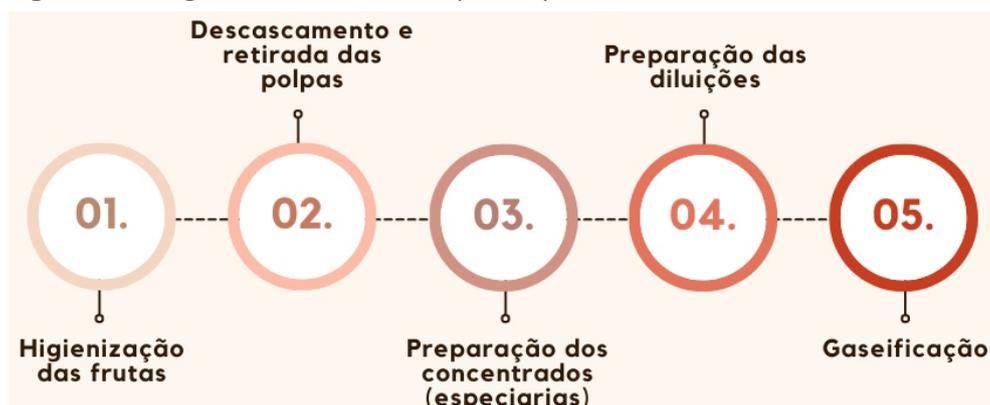
Pesquisa de mercado

Primeiramente realizou-se uma pesquisa de mercado por meio da plataforma Google Forms, com o objetivo de avaliar a intenção de compra do consumidor em uma água gaseificada saborizada com ingredientes naturais e adição de especiarias. O questionário foi divulgado por e-mail institucionalmente e em redes sociais, sendo que o mesmo possuía 7 perguntas, dentre elas a frequência que os entrevistados consomem bebidas saborizadas ou refrigerantes, os fatores importantes para a compra de um produto, a preferência de sabor e a faixa de preço que o entrevistado estaria disposto a pagar em 350mL de bebida. O questionário foi aplicado durante 30 dias e foram obtidas 83 respostas.

Desenvolvimento das bebidas gaseificadas

O fluxograma contendo as etapas para o desenvolvimento da bebida está apresentado na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma contendo as etapas do processamento da bebida saborizada.



Processamento das frutas e especiarias

Para o desenvolvimento do produto, as frutas e especiarias foram adquiridas do comércio local *in natura*. As frutas foram submetidas ao processo de lavagem e desinfecção, descascadas, despulpadas e processadas por 3 minutos. O suco foi filtrado para retenção de sólidos proveniente da polpa e armazenados em frasco até a sua utilização.

As especiarias foram pesadas, logo após adicionou-se determinada quantidade de água em média 100 ml para cada grama de especiaria (definida em testes preliminares) e submetidas à temperatura de 100°C por 15 minutos.

Preparação da bebida e formulação.

A concentração dos ingredientes foi determinada após uma série de testes com combinações diferentes de suco de fruta e extrato de especiaria. Os sabores foram determinados a partir das combinações que mais agradaram sensorialmente em teste preliminar com 20 provadores. Foi escolhido duas formulações (tabela 1): a primeira tem como base o suco da manga e a segunda o suco da melancia. Após a mistura, as bebidas foram transferidas para garrafas PET para realizar a gaseificação.

A gaseificação foi realizada através de um aparato que faz o bombeamento de dióxido de carbono diretamente na garrafa, com agitação constante por 1 minuto para melhor transferência de massa e posteriormente acondicionada sob refrigeração até o momento da análise sensorial.

Tabela 1: Formulação da bebida saborizada.

Formulação 1 – F1		Formulação 2 – F2	
Ingrediente	Quantidade %	Ingrediente	Quantidade %
Água	37,5	Melancia	42,7
Extrato de hortelã	25,0	Água	25,6
Manga	18,5	Laranja	25,6
Laranja	18,5	Extrato de canela	6,0

Análise sensorial

As bebidas foram avaliadas sensorialmente por 98 pessoas que foram recrutadas, dentre elas estudantes e servidores da Universidade Estadual de Maringá, para provar 2 amostras de sabores diferentes da bebida saborizada gaseificada, onde recebiam um formulário da análise que se baseava na escala hedônica. Os provadores avaliaram parâmetros como cor, aroma, textura, sabor e impressão global, onde eram atribuídas notas que variavam de 1 (desgostei muitíssimo) a 9 (gostei muitíssimo). Além disso, foi avaliado a intenção de compra em relação às amostras pela escala de três pontos, as notas variavam de 1 (certamente não compraria) a 3 (certamente compraria).

Os resultados foram tratados estatisticamente utilizando o programa computacional R. para análise de variância (ANOVA) utilizando 5% de nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pesquisa de mercado

Com base nos dados coletados, foi observado que o perfil dos entrevistados é composto por 57,1% mulheres, 36,7% homens e 6,1% preferiram não se identificar. Em relação à faixa etária, 81,6% pertencem à faixa etária de 18 a 28 anos, 10,2% estão entre 29 e 38 anos e 8,2% têm entre 39 e 48 anos.

Ao serem questionados sobre a frequência do consumo de bebidas saborizadas, refrigerantes e bebidas relacionadas, os resultados mostraram que 44,9% consomem ao menos uma vez por semana, 22,4% consomem de 3 a 2 vezes na semana, 26,5% consomem raramente, 4,1% consomem todos os dias e apenas 2% não consomem essas bebidas. No que diz respeito a o consumo dessas bebidas em conjunto com bebidas alcoólicas, 32,7% declararam misturarem ambas bebidas ocasionalmente e 18,4% possuem o costume de consumirem ambas sempre quando consomem bebidas alcoólicas, enquanto 30,6% não adicionam complementos e 18,4% não ingerem bebidas alcoólicas.

Ao beber uma bebida gaseificada as pessoas têm uma tendência a apreciá-las devido à sensação agradável que experimentam ao consumi-las. A ativação dos nervos trigêmeos e dos receptores de dor desencadeia uma sensação de formigamento e efervescência na parte posterior da garganta, a qual muitas pessoas desfrutam (Carstens et al., 2002). O estudo de Barker et al. (2021) sobre a percepção sensorial dos consumidores e resposta emocional a sucos de frutas carbonatados e não carbonatados mostra que na percepção do consumidor, as bebidas gaseificadas são mais preferidas porque o sabor doce é mais acentuado e a sensação proporciona melhor experiência sensorial.

Conforme esta pesquisa, a respeito da questão da faixa de preço (figura 3), 53,1% aceitariam pagar entre 4,00 a 5,00 reais em 350 mL da bebida saborizada e 36,7% aceitariam pagar de 5,01 a 6,00 reais.

Quando questionados sobre os critérios mais importantes na escolha de um produto (sendo permitido múltipla escolha), os parâmetros que mais se destacaram foram o sabor, preço e apresentar baixo percentual calórico, respectivamente.

No que se refere a preferência de sabor da bebida gaseificada (figura 2), 38,8% possuem preferência ao sabor de maracujá com adição de laranja e zimbro, enquanto 28,6% alegaram preferir sabor de melancia com adição de hortelã e limão. Cita-se ainda que a formulação de maracujá foi testada, porém em função do sabor muito ácido não foi selecionada para testes de análise sensorial.

O desenvolvimento de novos produtos leva em consideração a preferência do consumidor como forma de estratégia para bons resultados, além da questão nutricional que tem sido trabalhada nesta área, a demanda por sabores diferentes e o desenvolvimento de produtos com ingredientes não tão comuns, também está sendo uma grande tendência atualmente (Steffen, 2018). A busca por formulações reduzidas ou com ausência de açúcar, sódio, aditivos e entre outros se tornou um desafio para a indústria de refrigerantes. O objetivo é desenvolver produtos que atendam às expectativas e demandas dos consumidores, que estão cada vez mais preocupados com a saúde e buscam opções mais saudáveis (Frag et al., 2022)

A formulação do refrigerante Coca-cola é composta principalmente por ácido fosfórico, açúcar de frutose e cafeína, no entanto estudos mostram que a ingestão de xarope de frutose está associada ao desenvolvimento de síndrome metabólica e obesidade (Bray et al., 2004). Uma alternativa para substituição do açúcar apresentada pela indústria de bebidas é a utilização de aspartame, porém, estudos *in vivo* com ratos mostram que a ingestão prolongada desse composto pode ocasionar dano hepático através da desregulação de adipocitocinas e mudança do perfil lipídico e do estado antioxidante (Lebda et al., 2017).

Figura 2: Preferência de sabores da bebida saborizada.

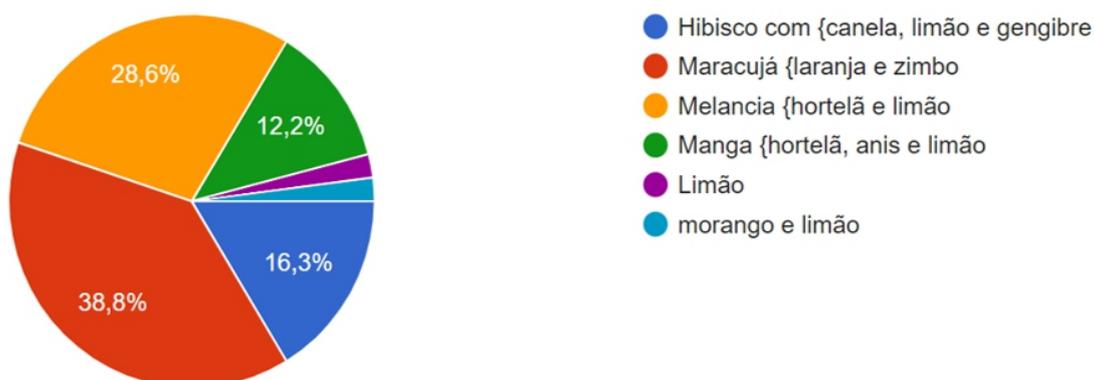
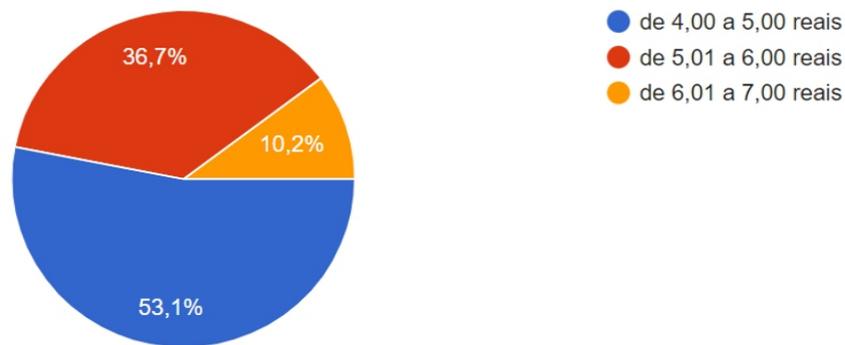


Figura 3: Faixa de preço aceita em pagar em 350 mL da bebida saborizada



Aceitação sensorial

Com os resultados obtidos da análise sensorial (Tabela 2) observou-se que para os atributos cor, aroma, consistência e aparência global, ambas as formulações apresentaram médias aproximadamente 7, equivalente a gostei regularmente, já o atributo sabor também para ambas as formulações, se aproxima da média 6, equivalente a gostei ligeiramente. Não houve diferença significativa entre as formulações em relação a todos os atributos avaliados.

Tabela 1: Avaliação do teste de aceitabilidade da bebida gaseificada saborizada naturalmente.

Atributos	Formulação 2	Formulação 1
Cor	7,46 ^a ± 1,46	7,38 ^a ± 1,58
Aroma	6,70 ^a ± 1,90	6,69 ^a ± 1,87
Sabor	5,93 ^a ± 2,16	5,76 ^a ± 1,91
Consistência	7,07 ^a ± 1,86	7,07 ^a ± 1,75
Aparência Global	7,12 ^a ± 1,66	6,97 ^a ± 1,50
Intenção de Compra	2,11 ± 0,74	1,95 ± 0,68

A escala hedônica de 9 pontos é uma escala balanceada que inclui um ponto neutro no meio, dividida igualmente em quatro categorias positivas e quatro categorias negativas em ambos os extremos (Lim, 2011). Todos os atributos sensoriais tiveram avaliações positivas para ambas as formulações.

O atributo mais bem avaliado foi a cor, seguido pela consistência e aroma. Em um estudo tratado por (Sampaio et al., 2021), no qual corantes naturais foram empregados como substitutos dos corantes

sintéticos em refrigerantes, os participantes do painel destacaram que a intensidade da cor do produto está associada à percepção de sua naturalidade tendendo a preferência por produtos com essa característica. Além disso, a adição de dióxido de carbono às bebidas também foi observada como um fator que intensifica a percepção do aroma, desejando para a experiência sensorial dos indivíduos, especialmente quando as especiarias aromáticas são utilizadas (Saint-Eve et al., 2010).

As formulações desenvolvidas nesse estudo foram pensadas em obter as características físicas de um refrigerante comercial, portanto com uma viscosidade semelhante. Para isso, a porção de água da formulação 1 foi diferente da formulação 2 uma vez que a polpa de manga é mais viscosa que a polpa de melancia (Aguiló-Aguayo et al., 2010; Barrón-García et al., 2021) e o resultado de aceitação positiva no atributo consistência, mesmo semelhantes, reflete a boa escolha das proporções de ingredientes das formulações, cita-se ainda que escassos são os trabalhos na literatura com produtos semelhantes a este.

O atributo sabor apresentou as menores notas para os atributos pesquisados, no entanto, ainda é aceitável no nível da escala hedônica, isso pode estar relacionado ao fato que em ambas as formulações não foi adicionado nenhum tipo de adoçante (sintético ou natural) sabendo que a doçura estimula os consumidores a preferir um produto (Barker et al., 2021).

Avaliando a intenção de compra destaca-se que a formulação 2 (sabor melancia) despertou um maior interesse de compra entre os avaliadores. É importante ressaltar que essa preferência pela formulação 2 não descarta ou invalida necessariamente a formulação 1.

O resultado sensorial da aparência global bebida gaseificada saborizada naturalmente com frutas e especiarias reflete o impacto positivo das preferências dos consumidores, demonstrando que o produto formulado pode ser uma alternativa às bebidas gaseificadas que contêm glicose ou adoçante aspartame em sua composição. Essa bebida atende às preferências dos entrevistados, uma vez que não é adoçada com açúcares, proporcionando satisfação aos consumidores.

CONCLUSÃO

Neste estudo, foi possível desenvolver dois produtos inovadores na área de engenharia de alimentos. As duas formulações de bebidas gaseificadas, ambas saborizadas naturalmente e com adição de especiarias foram bem aceitas na análise sensorial. No entanto, a formulação 2 (sabor melancia) se destacou ao apresentar uma maior intenção de compra entre os avaliadores.

Esses resultados sugerem que a utilização de ingredientes naturais e especiarias pode ser uma experiência sensorial agradável e cativante aos consumidores, permitindo a criação de opções saudáveis e saborosas como alternativas aos refrigerantes tradicionais. As formulações desenvolvidas nesse estudo podem representar uma contribuição relevante e inovadora para o mercado de bebidas, promovendo escolhas mais conscientes e recompensas para a saúde dos consumidores.

REFERÊNCIAS

- Abdel-Rahman, G. N., Ahmed, M. B. M., Sabry, B. A., & Ali, S. S. M. (2019). Heavy metals content in some non-alcoholic beverages (carbonated drinks, flavored yogurt drinks, and juice drinks) of the Egyptian markets. *Toxicology Reports*, 6, 210–214. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2019.02.010>
- Adebayo-Tayo, B. C., Olomitutu, F. O., & Adebami, G. E. (2021). Production and evaluation of probioticated mango juice using *Pediococcus pentosaceus* and *Pediococcus acidilactici* during storage at different temperature. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100202. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2021.100202>
- Adedeji, O. E., & Ezekiel, O. O. (2020). Chemical composition and physicochemical properties of mango juice extracted using polygalacturonase produced by *Aspergillus awamori* CICC 2040 on pretreated orange peel. *LWT*, 132, 109891. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109891>
- Azeredo, D. R. P., Alvarenga, V., Sant'Ana, A. S., & Sabaa Srur, A. U. O. (2016). An overview of microorganisms and factors contributing for the microbial stability of carbonated soft drinks. *Food Research International*, 82, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.024>
- Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2010). Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields or heat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 299–305. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2009.12.004>
- Barker, S., Moss, R., & McSweeney, M. B. (2021). Carbonated emotions: Consumers' sensory perception and emotional response to carbonated and still fruit juices. *Food Research International*, 147, 110534. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110534>
- Barrón-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., & Morales-Sánchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT*, 143, 111113. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111113>
- Bao, Y., Zhang, M., Chen, W., Chen, H., Chen, W., & Zhong, Q. (2021). Screening and evaluation of suitable non-*Saccharomyces* yeast for aroma improvement of fermented mango juice. *Food Bioscience*, 44, 101414. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2021.101414>

- Braddock, R. J., & Goodrich, R. M. (2002). Processing technologies to enhance fresh flavor of citrus juice. In ACS Symposium Series (Vol. 836). <https://doi.org/10.1021/bk-2003-0836.ch021>
- Bray, G. A., Nielsen, S. J., & Popkin, B. M. (2004). Consumption of high-fructose corn syrup in beverages may play a role in the epidemic of obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(4), 537–543. <https://doi.org/10.1093/AJCN/79.4.537>
- Carstens, E., Iodi Carstens, M., Dessirier, J. M., O'Mahony, M., Simons, C. T., Sudo, M., & Sudo, S. (2002). It hurts so good: oral irritation by spices and carbonated drinks and the underlying neural mechanisms. *Food Quality and Preference*, 13(7–8), 431–443. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00067-2](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00067-2)
- Farag, M. A., Rezk, M. M., Hamdi Elashal, M., El-Araby, M., Khalifa, S. A. M., & El-Seedi, H. R. (2022). An updated multifaceted overview of sweet proteins and dipeptides as sugar substitutes; the chemistry, health benefits, gut interactions, and safety. *Food Research International*, 162, 111853. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111853>
- Lebda, M. A., Tohamy, H. G., & El-Sayed, Y. S. (2017). Long-term soft drink and aspartame intake induces hepatic damage via dysregulation of adipocytokines and alteration of the lipid profile and antioxidant status. *Nutrition Research*, 41, 47–55. <https://doi.org/10.1016/J.NUTRES.2017.04.002>
- Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22(8), 733–747. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2011.05.008>
- Park, S. J., Nurika, I., Suhartini, S., Cho, W. H., Moon, K. D., & Jung, Y. H. (2020). Carbonation of not from concentrate apple juice positively impacts shelf-life. *LWT*, 134, 110128. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110128>
- Scutarașu, E. C., Luchian, C. E., Vlase, L., Colibaba, L. C., Gheldiu, A. M., & Cotea, V. V. (2021). Evolution of phenolic profile of white wines treated with enzymes. *Food Chemistry*, 340, 127910. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127910>
- Shah, K., Patel, M., Patel, R., & Parmar, P. (2010). *Mangifera Indica* (Mango). *Pharmacognosy Reviews*, 4(7), 42–48. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.65325>
- Steffen, A. (2018). Exploring the Benefits of Employing Market Insights and Consumer Trends in Food Product Innovation: A Case Study from Germany. *Case Studies in the Traditional Food Sector: A Volume in the Consumer Science and Strategic Marketing Series*, 209–237. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101007-5.00008-7>
- Saint-Eve, A., Déléris, I., Feron, G., Ibarra, D., Guichard, E., & Souchon, I. (2010). How trigeminal, taste and aroma perceptions are affected in mint-flavored carbonated beverages. *Food Quality and Preference*, 21(8), 1026–1033. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2010.05.021>

Sampaio, S. L., Lonchamp, J., Dias, M. I., Liddle, C., Petropoulos, S. A., Glamočlija, J., Alexopoulos, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., & Barros, L. (2021). Anthocyanin-rich extracts from purple and red potatoes as natural colourants: Bioactive properties, application in a soft drink formulation and sensory analysis. *Food Chemistry*, 342, 128526. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128526>

Tanguler, H., & Sener, S. (2022). Production of naturally flavoured and carbonated beverages using *Williopsis saturnus* yeast and cold fermentation process. *Food Bioscience*, 48, 101750. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101750>

Todaro, A., Arena, E., Timpone, R., Parafati, L., Proetto, I., Pesce, F., Pisana, F., Fallico, B., & Palmeri, R. (2023). Use of concentrated fruit juice extracts to improve the antioxidant properties in a soft drink formulation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31, 100649. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2022.100649>

Uzuner, S., & Cekmecelioglu, D. (2019). Enzymes in the Beverage Industry. *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, 29–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00003-7>

Zhang, Y., Li, R., Zhao, Q., & Fan, S. (2023). The impact of peer effect on students' consumption of sugar-sweetened beverages- instrumental variable evidence from north China. *Food Policy*, 115, 102413. <https://doi.org/10.1016/J.FOODPOL.2023.102413>

Engenharias



1ª EDIÇÃO



SOBRE O ORGANIZADOR



Compartilhando conhecimento

SOBRE O ORGANIZADOR

RÔMULO MAZIERO



Doutorado em Engenharia Mecânica (UFMG), especialista em Ensino de Ciências, Saúde e Ambiente na área de concentração em Educação (IFES), pesquisador do Grupo de Inovação e Tecnologia em Materiais (GiTeM/UFMG), Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (IFES), Aperfeiçoamento em Tecnologia Educacional (IFES) e Engenheiro Industrial Madeireiro (UFES). Atuou como professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e no Centro Universitário de Maringá. Revisor e membro do corpo editorial de diversos periódicos nacionais e internacionais. Experiência na área de Engenharia de Materiais e Mecânica, com ênfase em materiais conjugados não-metálicos e aproveitamento de resíduos sólidos.



<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



Compartilhando conhecimento