Organização
Guilherme de Paula Rúbio
Matheus Carvalho Barbosa Costa

Pesquisas Multidisciplinares

Vol. 3

Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Humanas e Sociais.



SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento

Organização
Guilherme de Paula Rúbio
Matheus Carvalho Barbosa Costa

Pesquisas Multidisciplinares

Vol. 3

Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Humanas e Sociais.



SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento

Saúde, Ciências Agrárias e Ciências Humanas e Sociais.

Organização:
Guilherme de Paula Rúbio
Matheus Carvalho Barbosa Costa

ISBN: 978-65-88890-66-0
DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-66-0

Editor Chefe
Dr. Washington Moreira Cavalcanti

Conselho Editorial
Dra. Lais Brito Cangussu
Dr. Jean Andrade Canestri
Dr. Rômulo Maziero
Msc. Jorge Luiz dos Santos Mariano
Msc. Daniela Aparecida de Faria
Dr. Paulo Henrique Nogueira da Fonseca
Msc. Edgard Gonçalves da Costa
Msc. Gilmara Elke Dutra Dias
Dra. Leonete Cristina de A. F. M. Silva
Dra. Edna Lucia da Rocha Linhares
Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Projeto Gráfico e Diagramação
Departamento de arte Synapse Editora

Editoria de Arte
Maria Aparecida Fernandes

Revisão
Os Autores

2026 by Synapse Editora
Copyright © Synapse Editora
Copyright do Texto © 2025 Os autores
Copyright da Edição © 2025 Synapse Editora
Direitos para esta edição cedidos à
Synapse Editora pelos autores.

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

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

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

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

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2026

Saúde, Ciências Agrárias e
Ciências Humanas e Sociais.

G956p Rúbio, Guilherme de Paula

Pesquisas Multidisciplinares em Saúde, Ciências Agrárias e Ciências Humanas e Sociais - Volume 3
Organizadores: Guilherme de Paula Rúbio, Matheus Carvalho Barbosa Costa.
Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2026, 203 p.
Formato: PDF
Modo de acesso: World Wide Web.
Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-66-0
DOI: 10.63951/synapse978-65-88890-66-0

1. Pesquisa, 2. Multidisciplinaridade, 3. Saúde, 4. Ciências Agrárias, 5. Ciências Humanas e Sociais, 6. Meio ambiente, 7. Inovação.

I. Pesquisas Multidisciplinares em Saúde, Ciências Agrárias e Ciências Humanas e Sociais.
II. Organizadores:
Guilherme de Paula Rúbio, Matheus Carvalho Barbosa Costa

CDD: 001.42 - 600 - 607
CDU: 001.8 - 6 - 30

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

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2026

PREFÁCIO

A ciência contemporânea caracteriza-se, cada vez mais, pela capacidade de estabelecer diálogos entre diferentes áreas do conhecimento e de transformar problemas complexos em oportunidades de investigação, inovação e desenvolvimento. É nesse contexto que se insere a presente obra, Pesquisas Multidisciplinares em Saúde, Ciências Agrárias e Ciências Humanas e Sociais. – Volume 3, que reúne contribuições marcadas pela diversidade temática, pelo rigor científico e pela preocupação em produzir conhecimentos capazes de dialogar com demandas concretas da sociedade. Os estudos apresentados percorrem questões relacionadas à qualidade de vida no trabalho, tecnologias assistivas, reabilitação pós-AVC, próteses, biomecânica, produção agrícola, nutrição animal, gestão do conhecimento e inovação, evidenciando a amplitude e a riqueza da produção científica que compõe este volume.

Este volume, portanto, deve ser compreendido como um convite ao diálogo interdisciplinar e à construção coletiva do conhecimento. Ao reunir diferentes objetos, abordagens e metodologias, a obra demonstra que a pesquisa científica encontra sua maior potência quando ultrapassa os limites de cada campo e se coloca a serviço da compreensão e da transformação da realidade. Que estas páginas inspirem pesquisadores, estudantes, profissionais e leitores a reconhecer na ciência não apenas um instrumento de produção de conhecimento, mas também uma possibilidade concreta de inovação, desenvolvimento sustentável, promoção do bem-estar e construção de uma sociedade mais preparada para os desafios do presente e do futuro.

SYNAPSE Editora
Compartilhando conhecimento
2026

SUMÁRIO

EDITORIAL ---- **08**

PESQUISAS MULTIDISCIPLINARES EM SAÚDE, MEIO AMBIENTE, CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS - VOLUME 3

Washington Moreira Cavalcanti

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_0

Seção I - Saúde

CAPÍTULO 1 ---- **11**

EQUILÍBRIO ENTRE VIDA SOCIAL E LABORAL E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

Gleyce Maria Simplício Revoredo
Fabiana Costa Guedes
Priscilla Chantal Duarte Silva

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_1

CAPÍTULO 2 ---- **27**

DESIGN OF ACTUATORS APPLIED TO A UPPER LIMB ORTHOSIS

Guilherme de Paula Rúbio
Fernanda Marcia Rodrigues Martins Ferreira
Fabrício Henrique de Lisboa Brandão
Victor Flausino Machado
Leandro Gonzaga Tonelli
Renan Fernandes Kozan
Claysson Bruno Santos Vimieiro

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_2

CAPÍTULO 3 ---- **39**

ELBOW MODULE VALIDATION OF A ROBOTIC ORTHOSIS FOR STROKE REHABILITATION

Guilherme de Paula Rúbio
Fernanda Márcia Rodrigues Martins Ferreira
Rina Mariane Alves Dutra
Arthur Mazzini da Mata
João Paulo Fernandes Bonfim
Claysson Bruno Santos Vimieiro

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_3

CAPÍTULO 4 ---- **55**

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE MECHANICAL STRUCTURE OF AN HYBRID ORTHOSIS

Francielle Aparecida da Paz
Arthur Torres Caetano
Matheus Carvalho Barbosa Costa
João Paulo Fernandes Bonfim
Guilherme de Paula Rúbio
Fernanda Márcia Rodrigues Martins Ferreira
Lucas Oliveira da Fonseca
Henrique Resende Martins
Claysson Santos Bruno Vimieiro

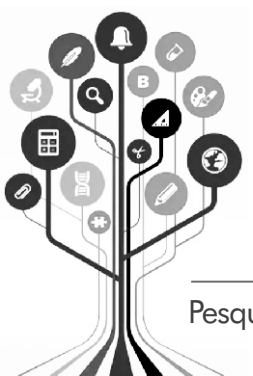
DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_4

CAPÍTULO 5 ---- **68**

DYNAMIC ANALYSIS OF AN UNDERACTUATED PROSTHETIC FINGER USING A FOUR-BAR MECHANISM

Flavio Germano Nassif Tondato
Jorge Felipe Assad Bensoussan
Sarah Fernandes de Paula Cortezzi
Guilherme de Paula Rúbio
Claysson Bruno Santos Vimieiro

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_5



SUMÁRIO

CAPÍTULO 6 ..... **80**

IN SILICO MODEL TO EVALUATE THE EFFECT OF CORONARY OSTIA POSITION ON STRESS AND STRAIN DURING THE OSCILLATION OF BIOLOGICAL HEART VALVE LEAFLETS

Matheus Carvalho Barbosa Costa
Saulo de Freitas Gonçalves
Mário Luis Ferreira da Silva
Luiz Eduardo Cardoso de Oliveira
Rudolf Huebner

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_6

Seção II - Ciências Agrárias

CAPÍTULO 7 ..... **100**

QUALITY OF MEAT AND BONE MEAL IN POULTRY NUTRITION: A THEORETICAL ANALYSIS OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS AND PRACTICAL APPLICABILITY

Lilia Basilio de Caland
Joelma Gleciane Gomes do Nascimento Andrade
Ellen Gomes Silva
Natália Sabrina Nunes Silveira
Gerard Vicente Dantas de Medeiros Filho
Jhonatan Guilherme Felisberto da Silva
Maria de Fátima Vitória de Moura

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_7

CAPÍTULO 8 ..... **116**

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE GRAPE EM AMBIENTE PROTEGIDO

Cínthia Ferreira Martins
Ariana Mota Pereira
Pablo Murta Baião Albino
Renata Ranielly Pedroza Cruz

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_8

Seção III - Ciências Humanas e Sociais

CAPÍTULO 9 ..... **135**

GESTÃO DO CONHECIMENTO, ATIVOS INTANGÍVEIS E EFICIÊNCIA ORGANIZACIONAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Washington Moreira Cavalcanti
Maria Aparecida Fernandes

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_9

CAPÍTULO 10 ..... **146**

DIFERENÇA DE GÊNERO NA LINGUAGEM: PERSPECTIVAS DA LINGUAGEM NEUTRA NO BRASIL E USO DE TODOS E TODAS COMO INCLUSÃO DE GÊNERO

Priscilla Chantal Duarte Silva
Luiz Augusto de Lima Ávila
Fernando Eustáquio Guedes
Fabiane Silva Barroso

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_10

CAPÍTULO 11 ..... **172**

AMBIVALÊNCIA E CORPO GROTESCO EM BAKHTIN: DO UNIVERSO RABELAISIANO ÀS TENSÕES DO CORPO CONTEMPORÂNEO

Rita Araújo Cosenza
Priscilla Chantal Duarte Silva

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_11

Editorial

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_0:

SAÚDE, CIÊINCIAS AGRÁRIAS E CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS VOLUME 3

Prof. Washington Moreira Cavalcanti
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Montanha
washington.cavalcanti@gmail.com

É com grande satisfação que apresentamos ao leitor o terceiro volume da obra ‘‘Pesquisas Multidisciplinares em Saúde, Meio Ambiente, Ciências Humanas e Sociais’’, uma coletânea que reafirma o compromisso com a produção e a disseminação do conhecimento científico como instrumento de transformação da sociedade. Reunindo estudos de diferentes campos do saber, esta edição evidencia que os desafios contemporâneos não podem ser compreendidos a partir de fronteiras disciplinares rígidas, mas exigem diálogo, integração metodológica e aproximação entre ciência, tecnologia e realidade social.

Na área da ‘‘Saúde’’, os trabalhos reunidos revelam uma importante convergência entre a dimensão humana do cuidado e o desenvolvimento tecnológico. A discussão sobre o equilíbrio entre vida pessoal e profissional e sua relação com a qualidade de vida no trabalho evidencia a centralidade do bem-estar, da saúde ocupacional e da construção de ambientes laborais mais humanizados. A pesquisa identifica, ainda, a relevância de políticas organizacionais pautadas na flexibilidade, no suporte institucional e no uso adequado das tecnologias.

Assim, essa perspectiva humana encontra continuidade nos estudos dedicados à ‘‘reabilitação e às tecnologias assistivas’’, especialmente aqueles voltados ao desenvolvimento e à validação de órteses robóticas para indivíduos que enfrentam sequelas decorrentes do acidente vascular cerebral. O desenvolvimento de atuadores eletromecânicos, a validação estrutural do módulo de cotovelo e a análise de órteses híbridas demonstram como a engenharia biomédica pode responder concretamente a necessidades de saúde, autonomia e qualidade de vida. Os resultados apresentados, inclusive com parâmetros de torque, tensão, deformação e fatores de segurança, revelam o rigor técnico empregado na busca por dispositivos funcionais e seguros.



A dimensão inovadora da coletânea é ampliada pelos estudos sobre ‘‘próteses e modelagem computacional aplicada à saúde’’. A investigação de mecanismos de quatro barras para próteses de dedos procura aproximar desempenho mecânico e movimento anatômico, enquanto o modelo *in silico* aplicado às válvulas cardíacas amplia a compreensão de fenômenos biomecânicos relevantes para o desenvolvimento de dispositivos mais duráveis.

No campo do ‘‘Agronegócio’’, esta edição aproxima ciência, economia e sustentabilidade. A análise da produção de tomate grape em ambiente protegido demonstra que a viabilidade econômica de um empreendimento agrícola depende não apenas de indicadores positivos de investimento, mas também da capacidade de enfrentar oscilações de mercado e realizar planejamento comercial e de safra. De modo complementar, o estudo sobre farinha de carne e ossos na nutrição de aves aborda parâmetros físico-químicos e condições de controle que podem contribuir para uma produção agropecuária mais eficiente, responsável e sustentável.

Por fim, a seção dedicada à ‘‘Inovação’’ evidencia que o conhecimento também constitui um ativo estratégico das organizações. A revisão sobre gestão do conhecimento, ativos intangíveis e eficiência organizacional destaca o papel do capital intelectual na construção de vantagens competitivas sustentáveis e evidencia a necessidade de aprofundar as investigações empíricas sobre a integração desses elementos.

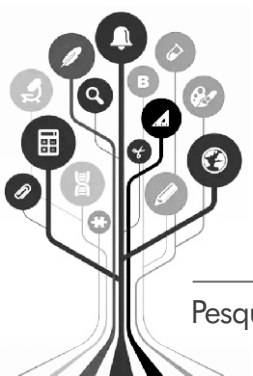
Assim, o ‘‘Volume 3’’ apresenta-se como um espaço de encontro entre diferentes saberes, métodos e perspectivas. Mais do que reunir pesquisas, a obra evidencia a capacidade da ciência de estabelecer pontes entre ‘‘saúde e tecnologia, trabalho e bem-estar, engenharia e reabilitação, produção e sustentabilidade, conhecimento e inovação’.’ É justamente nessa pluralidade que reside sua maior contribuição: demonstrar que a pesquisa científica ganha força quando dialoga com problemas concretos e quando seus resultados são orientados para a melhoria da vida, das organizações e da sociedade.

Aos pesquisadores, autores e leitores, desejamos uma proveitosa experiência de leitura e reflexão. Que este volume contribua não apenas para ampliar o conhecimento acadêmico, mas também para estimular novas perguntas, novas pesquisas e novas possibilidades de transformação.

Boa leitura!

SEÇÃO I

Saúde



DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_1

EQUILÍBRIO ENTRE VIDA SOCIAL E LABORAL E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

Gleyce Maria Simplício Revoredo
Universidade Federal de Itajubá
gleycerevoredo27@gmail.com

Priscilla Chantal Duarte Silva
Universidade Federal de Itajubá
priscillachantal@unifei.edu.br

Fabiana Costa Guedes
Universidade Federal de Itajubá
fabiana.costaguedes@unifei.edu.br

RESUMO

O equilíbrio entre vida pessoal e profissional tem se consolidado como um dos principais fatores associados à Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), especialmente diante das transformações contemporâneas nas relações laborais e do avanço das tecnologias digitais. Nesse contexto, o presente estudo buscou responder à seguinte questão de pesquisa: de que maneira o equilíbrio entre a vida pessoal e profissional afeta a Qualidade de Vida no Trabalho? O objetivo geral consistiu em identificar o atual panorama da temática equilíbrio vida pessoal-trabalho por meio de uma revisão integrativa da literatura. Como objetivos específicos, o estudo analisou os fatores associados ao equilíbrio trabalho e vida, compreender suas relações com a QVT e identificar estratégias organizacionais voltadas à promoção do bem-estar dos trabalhadores. Metodologicamente, realizou-se uma revisão integrativa da literatura, com buscas nas bases de dados ScienceDirect e Scopus, considerando estudos publicados entre os anos de 2020 e 2026. Os resultados evidenciam que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional influencia positivamente a satisfação, o engajamento, o desempenho e o bem-estar dos trabalhadores, além de contribuir para a redução do conflito trabalho e família e do estresse ocupacional. Observou-se, ainda, que políticas organizacionais baseadas em flexibilidade, suporte institucional e uso adequado de tecnologias favorecem a promoção da QVT. Conclui-se que o equilíbrio trabalho e vida constitui elemento estratégico para a sustentabilidade organizacional e para a promoção de ambientes laborais mais saudáveis e humanizados.

Palavras-chave:
Equilíbrio trabalho e vida; qualidade de vida no trabalho; Bem-Estar ocupacional; Engajamento no trabalho.

ABSTRACT

Work-life balance has become one of the main factors associated with Quality of Work Life (QWL), especially in light of contemporary transformations in labor relations and the advancement of digital technologies. In this context, the present study sought to answer the following research question: how does the balance between personal and professional life affect Quality of Work Life? The general objective was to identify the current panorama of the work-life balance theme through an integrative literature review. As specific objectives, the study analyzed the factors associated with work-life balance, examined their relationship with QWL, and identified organizational strategies aimed at promoting workers' well-being. Methodologically, an integrative literature review was conducted using searches in the ScienceDirect and Scopus databases, considering studies published between 2020 and 2026. The results show that work-life balance positively influences workers' satisfaction, engagement, performance, and well-being, in addition to contributing to the reduction of work-family conflict and occupational stress. It was also observed that organizational policies based on flexibility, institutional support, and the appropriate use of technologies favor the promotion of QWL. It is concluded that work-life balance constitutes a strategic element for organizational sustainability and for the promotion of healthier and more humanized work environments.

Keywords:
Work-life balance; Quality of working life; Occupational well-being; Work engagement.

INTRODUÇÃO



tema equilíbrio entre vida social e trabalho torna-se cada vez mais presente no contexto das organizações contemporâneas. Walton (1973), autor clássico da área de Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), já destacava a importância do equilíbrio entre a profissão e a vida pessoal. Segundo essa perspectiva, a integração entre a vida laboral e as demais esferas da vida contribui para uma melhor percepção de satisfação no trabalho e para o bem-estar dos trabalhadores (Ogunola, 2022). Dessa forma, associa-se a satisfação dos trabalhadores ao sucesso das organizações, o que evidencia a importância de uma adequada gestão da vida profissional e familiar, favorecendo o bem-estar físico e mental e, consequentemente, a melhoria da produtividade e do desempenho organizacional (Gülmez et al., 2024).

Segundo Šmite *et al.* (2022), o trabalho remoto é frequentemente apontado como uma alternativa para promover o equilíbrio entre vida pessoal e profissional, uma vez que possibilita maior presença no ambiente familiar e oferece flexibilidade na organização e no planejamento do tempo de trabalho. Entretanto, alguns trabalhadores relatam dificuldades na adaptação ao trabalho remoto, afirmando que houve aumento da carga horária e redução da socialização e da interação com os colegas. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de desenvolver estratégias que favoreçam a conciliação entre as demandas profissionais e pessoais, tanto no trabalho remoto quanto no presencial.

Como apontam Choi, Choi e Lee (2021), outra questão relevante relacionada ao equilíbrio entre vida social e trabalho refere-se às desigualdades de gênero presentes nesse contexto. As autoras destacam que as mulheres, em muitos casos, enfrentam maiores dificuldades para manter o equilíbrio entre vida pessoal e profissional, em razão da sobrecarga associada às tarefas domésticas e às atividades profissionais exercidas fora do ambiente doméstico.

Assim, considerando que trabalhadores que mantêm equilíbrio entre vida profissional e pessoal tendem a apresentar maior envolvimento com suas atividades e melhor desempenho laboral, as organizações devem dedicar atenção a essa temática, especialmente diante da busca constante por produtividade, resultados e bem-estar organizacional (Lamichhane; Bhaumik; Gnawali, 2023).

A partir das discussões apresentadas, o presente estudo busca responder ao seguinte problema de pesquisa: de que maneira o equilíbrio entre a vida pessoal e profissional afeta a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT)? Nesse sentido, considerando as evidências identificadas na literatura e as relações observadas entre equilíbrio trabalho e vida, satisfação e bem-estar dos trabalhadores, a hipótese do estudo considera que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional influencia positivamente a Qualidade de Vida no Trabalho, contribuindo para maiores níveis de satisfação, bem-estar e desempenho laboral.



Como objetivo geral, o estudo busca identificar o atual panorama da temática equilíbrio entre vida pessoal e profissional por meio de uma revisão integrativa da literatura. Como objetivos específicos, o estudo pretende analisar os fatores associados ao equilíbrio trabalho e vida presentes na literatura recente, compreender as relações entre equilíbrio vida pessoal-profissional e Qualidade de Vida no Trabalho, bem como identificar estratégias organizacionais voltadas à promoção do bem-estar e do engajamento dos trabalhadores.

A realização deste estudo justifica-se pela crescente relevância do equilíbrio entre vida pessoal e profissional no contexto organizacional contemporâneo, marcado por mudanças nos modelos de trabalho, como o trabalho remoto discutido por Šmite et al. (2022), e pela busca constante das organizações por produtividade e resultados. Embora autores clássicos, como Walton (1973), já tenham destacado a importância da integração entre trabalho e vida pessoal para a Qualidade de Vida no Trabalho, as novas configurações laborais e demandas sociais evidenciam a necessidade de ampliar a compreensão sobre como esse equilíbrio se manifesta na atualidade. Dessa forma, a pesquisa contribui para ampliar as discussões sobre a promoção de ambientes organizacionais mais saudáveis, sustentáveis e humanizados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito Qualidade de Vida no Trabalho-QVT

A Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) relaciona-se à humanização do ambiente laboral, compreendendo a necessidade de integração equilibrada entre trabalho e vida pessoal. Nessa perspectiva, propõe-se um modelo teórico composto por oito dimensões fundamentais: compensação justa e adequada; condições de trabalho; uso e desenvolvimento das capacidades; oportunidades de crescimento e segurança; integração social na organização; constitucionalismo; trabalho e espaço total de vida; e relevância social do trabalho (Walton, 1973).

Dando continuidade aos estudos sobre qualidade de vida no trabalho, ainda na década de 1970, Hackman e Oldham (1975) tinham a proposta de humanizar o trabalho na época propondo levar a qualidade dos produtos e processos para a qualidade de pessoas.

Percebe-se, dessa forma, que na literatura existem diversos modelos e avaliações de QVT, como por exemplo os modelos estudados a partir de uma perspectiva brasileira: modelo de nove dimensões de Fernandes (1996) e o Biopsicossocial e Organizacional desenvolvido por Limongi-França (2003). O modelo de Fernandes (1996) parte da perspectiva de humanização do trabalho e considera as seguintes dimensões: compensação justa e adequada; condições de trabalho; uso e desenvolvimento de capacidades; oportunidade de crescimento e segurança; integração social na organização; constitucionalismo; trabalho e espaço total de vida e relevância social do trabalho.

Já o modelo Biopsicossocial e Organizacional (BPSO), desenvolvido por Limongi-França (2003), tem como objetivo analisar a QVT de forma sistêmica, considerando o indivíduo como um ser integral inserido em um contexto organizacional. A sigla BPSO refere-se às quatro dimensões fundamentais do modelo: biológica, psicológica, social e organizacional.



Nesses modelos de avaliação de QVT, o que se observa é que direta ou indiretamente, considera-se o item equilíbrio vida social e trabalho um fator determinante para o bem-estar do trabalhador. Na abordagem contra hegemônica conhecida como Ergonomia da Atividade Aplicada à Qualidade de Vida no Trabalho (EAA_QVT) (Ferreira, 2011), o quesito Elo trabalho-vida social aparece de maneira interdependente aos outros fatores, e constitui um dos aspectos considerados para que se tenha verdadeiramente uma qualidade de vida no trabalho, abordagem que considera principalmente a perspectiva do trabalhador.

2. 2 Equilíbrio entre trabalho e vida pessoal

O tema do equilíbrio entre trabalho e vida pessoal, também denominado *Work-Life Balance*, está cada vez mais presente nas discussões contemporâneas. De acordo com métodos de avaliação da Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), como a escala QualTra, o equilíbrio entre trabalho e vida pessoal constitui um fator decisivo para a promoção da QVT. Essa escala apresenta seis subdimensões: (1) tarefas e organização do trabalho; (2) relações sociais no trabalho; (3) equilíbrio entre trabalho e vida pessoal; (4) ambiente de trabalho; (5) desenvolvimento profissional; e (6) sentimento de reconhecimento e apoio organizacional (Salès-Wuillemin et al., 2024).

Ferreira (2011) apresenta a abordagem denominada Ergonomia da Atividade Aplicada à Qualidade de Vida no Trabalho (EAA-QVT). Nessa perspectiva, o equilíbrio entre vida pessoal e profissional, envolvendo aspectos como família, lazer, segurança e realização pessoal, é compreendido como um fator gerador de bem-estar no trabalho e, consequentemente, promotor da Qualidade de Vida no Trabalho. E que as organizações que apresentem médias na zona de bem-estar moderado devem consolidar em sua totalidade e os que estão localizados na zona de alerta precisam receber maior atenção dos gestores para que no futuro não se tornem causadores de adoecimento no trabalho (Santos e Ferreira, 2023).

Em seus estudos, Broch *et al.* (2020), concluíram que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional tem um efeito positivo significativo sobre a criatividade e a satisfação do profissional. Esse equilíbrio entre vida pessoal e profissional geraria maior comprometimento organizacional e proatividade.

Por outro lado, as pessoas trabalhando de forma exaustiva e sem tempo para si mesmas, para a família e para a convivência com os outros, poderiam ficar insatisfeitas, ocasionando, consequentemente, altos níveis de insatisfação no ambiente de trabalho (Broch *et al*.,2020). O equilíbrio entre o vínculo dos funcionários com a organização gera inúmeros benefícios para o trabalhador e, consequentemente, para a empresa, como por exemplo, prevenção da síndrome de burnout, redução da rotatividade de pessoal e melhoria da qualidade de vida (Yuh, 2022).

Dudezert *et al*. (2023) fizeram um estudo de caso em três empresas francesas pré-digitais. Os resultados mostraram que a tecnologia auxilia no dia a dia do trabalhador, agilizando rotinas e melhorando condições de trabalho. Assim, entende-se que o fortalecimento de um clima emocional positivo nas organizações depende do incentivo à utilização de soluções digitais e da reconfiguração das formas de trabalho com o apoio da tecnologia.

Entende-se por “trabalho inteligente” a aplicação de novas tecnologias na execução de tarefas. A valorização desse modelo de trabalho, em detrimento do trabalho excessivamente exaustivo,



relaciona-se à busca pelo equilíbrio entre vida pessoal e profissional. Trabalhadores que conseguem realizar suas atividades com maior eficiência por meio da apropriação tecnológica tendem a apresentar níveis mais elevados de satisfação no ambiente de trabalho (Ko; Kim; Kim, 2021).

Entretanto, o conflito trabalho-família pode ser agravado pela chamada tecnoinvasão, que são ambientes de trabalho virtuais e híbridos, nos quais os funcionários sentem-se constantemente obrigados a estar disponíveis. É como se não houvesse distinção entre trabalho e vida pessoal (Harunavamwe e Kanengoni, 2023).

Harunavamwe e Kanengoni (2023) conceituam o conflito trabalho-família como sendo o grau de incompatibilidade entre os papéis e responsabilidades da pessoa nos ambientes do trabalho e da família. E esse construto é formado por três dimensões: conflito baseado no tempo, conflito baseado no comportamento e conflito baseado na tensão. O tempo em excesso dedicado a um ambiente atingirá por consequência o desempenho no outro.

No tocante à questão do conflito trabalho e família, pode-se apontar também o chamado "vício em trabalho". Os autores abordam a temática de trabalho compulsivo como sendo uma fusão entre os baixos níveis de flexibilidade psicológica do indivíduo com ambientes que estimulam a sobrecarga de trabalho (Russo *et al.*, 2025).

Georgellis et al. (2022) adotaram uma abordagem quantitativa longitudinal com trabalhadores do Reino Unido. Os resultados da pesquisa indicaram que cargos mais elevados e de maior status são fortemente almejados pelos trabalhadores. Contudo, esses cargos também tendem a intensificar os conflitos entre vida pessoal e profissional. Na maioria das vezes, funções de maior status estão associadas a cargos de gestão, que exigem responsabilidade sobre outros membros da equipe, podendo gerar tensão ocupacional e repercussões negativas em diferentes esferas da vida.

Visto isso, a temática equilíbrio vida social e trabalho é indissociável do ambiente das organizações, sejam elas públicas ou privadas. Uma vez que, o conflito trabalho-família possui influência negativa estatisticamente mais significativa no engajamento do trabalho. Desse modo, os funcionários são impactados negativamente quando expostos ao conflito trabalho-família (Harunavamwe e Kanengoni, 2023).

Fatores relacionados à tensão ocupacional, comuns em ambientes organizacionais, tendem a apresentar menor intensidade quando os trabalhadores percebem equilíbrio entre as esferas pessoal e profissional (Santos Rocha; Barham; De Santis, 2022). Contudo, Ferreira (2011), em pesquisa realizada com funcionários do setor público brasileiro, alerta que trabalhadores excessivamente voltados apenas à vida social podem apresentar menor vínculo com a instituição, comprometendo objetivos e metas organizacionais. Dessa forma, o equilíbrio não deve ser compreendido como oposição entre vida pessoal e trabalho, mas como uma relação de harmonização entre ambas as esferas. Nesse sentido, políticas de integração entre vida pessoal e profissional devem ser incentivadas de maneira equilibrada, favorecendo o engajamento e o comprometimento dos trabalhadores. Yadav, Pandita e Singh (2022), em revisão sistemática da literatura sobre integração trabalho e vida e engajamento dos funcionários, concluíram que políticas organizacionais adequadas contribuem para reduzir os efeitos da complexidade existente entre as demandas profissionais e pessoais.



3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Dentre os tipos de revisão da literatura, este estudo optou pela revisão integrativa, que consiste na análise de pesquisas relevantes com o objetivo de sintetizar o estado do conhecimento, proporcionando uma compreensão ampliada sobre determinado fenômeno e identificando lacunas científicas a serem exploradas em estudos futuros (Botelho; Cunha; Macedo, 2011; Broome, 2006).

A revisão integrativa utiliza dados provenientes da literatura teórica e empírica, possibilitando o levantamento de conceitos, a revisão de teorias e a análise de questões metodológicas. Esse tipo de revisão segue etapas sistematizadas, que incluem a elaboração da pergunta norteadora, a busca ou amostragem na literatura, a coleta de dados, a análise crítica dos estudos selecionados e a discussão dos resultados (Souza; Silva; Carvalho, 2010).

Os critérios para seleção dos artigos se encontram determinados pelo objetivo da revisão, ou seja, a pergunta a que o artigo deseja responder: De que maneira o equilíbrio entre a vida pessoal e profissional afeta a qualidade de vida no trabalho (QVT)?

Para a realização da busca dos estudos, utilizaram-se as bases de dados *Science Direc*t e *Scopus*, pela dimensão e emprego em estudos de revisão. Ademais, os estudos analisados encontram-se redigidos, predominantemente, nos idiomas inglês e português. Quanto ao recorte temporal, definiu-se o período compreendido entre os anos de 2020 e 2026.

A estratégia de busca adotada consistiu na utilização dos termos *'work-life balance'* AND *'quality of life at work'* como descritores os quais foram inseridos nas referidas bases de dados para a identificação dos estudos primários que compõem este artigo.

A primeira etapa do processo consistiu na definição dos critérios de inclusão e exclusão, apresentados no Quadro 1. Estabeleceu-se, ainda, que apenas os estudos que atendessem simultaneamente a todos os critérios de inclusão seriam considerados elegíveis, sendo excluídos aqueles que se enquadrassem em pelo menos um dos critérios de exclusão.

Quadro 1. Critérios para inclusão e exclusão

ACEITAÇÃO	REJEIÇÃO
Estudos que tratam diretamente de Equilíbrio vida social trabalho e QVT	Estudos que não tratam diretamente de Equilíbrio vida social trabalho e QVT
Estudos que tenham sido publicados entre 2020 e 2026	Estudos publicados antes de 2020
Estudos publicados nas áreas temáticas: Negócios, Gestão e Contabilidade, Ciências Sociais e Psicologia	Estudos publicados fora das áreas temáticas: Negócios, Gestão e Contabilidade, Ciências Sociais e Psicologia
	Estudos duplicados

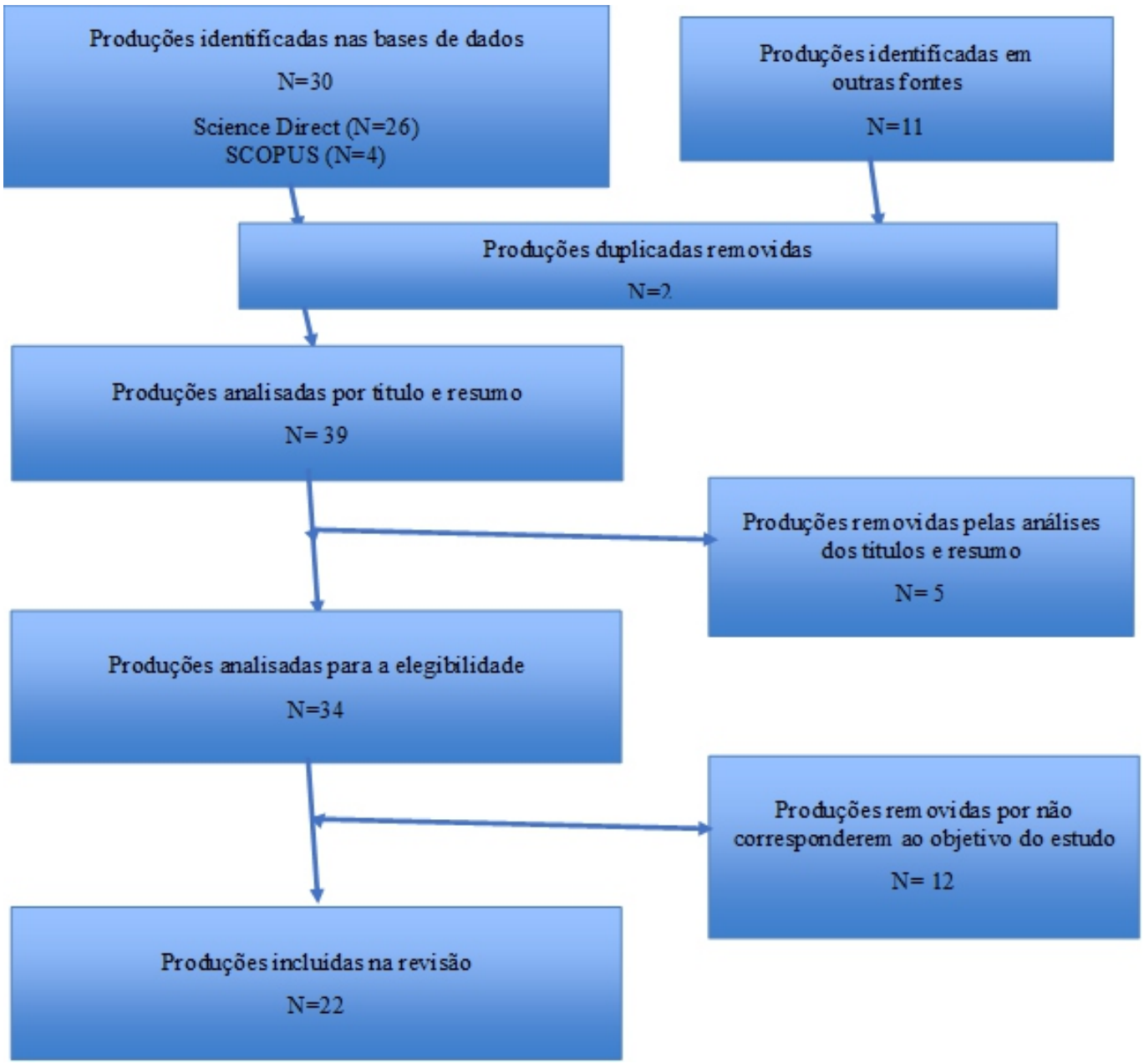
Fonte: elaborado pelos autores.

Nessa fase, na base de dados *Science Direct* foram encontrados 26 artigos, mas 19 manuscritos foram rejeitados por estarem em duplicidade ou por se enquadrarem em algum dos critérios de rejeição, dessa forma, 7 foram considerados elegíveis e integraram a presente revisão integrativa. Foram feitas,

também, pesquisas na base de dados *Scopus*, foram localizados 4 documentos, entretanto 1 foi excluído por não tratar diretamente do tema Equilíbrio vida social e trabalho e QVT.

A triagem dos artigos foi conduzida de acordo com as recomendações do protocolo PRISMA, conforme ilustrado na Figura 1. Inicialmente, realizou-se a triagem preliminar por meio da leitura dos títulos e resumos, com o objetivo de excluir os estudos que não atendiam aos critérios de elegibilidade. Na etapa subsequente, procedeu-se à análise dos textos completos, mediante leitura integral dos artigos potencialmente elegíveis, a fim de confirmar sua inclusão na amostra final. O fluxograma apresenta as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos selecionados.

Figura 1 - Fluxograma mostrando a identificação e seleção dos estudos.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).



Além da pesquisa nas bases de dados, também foi acrescentado, manualmente, autores que se destacam pela relevância de suas pesquisas e dados, totalizando 11 obras citadas ao longo do estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados identificou aproximações e convergências entre as pesquisas que investigam a seguinte questão: de que maneira o equilíbrio entre a vida pessoal e profissional afeta a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT)? O Quadro 1 apresenta uma síntese das metodologias utilizadas nos estudos analisados, bem como dos principais resultados encontrados pelos autores selecionados nesta revisão integrativa.

Quadro 1 - Síntese das obras selecionadas

Autor/Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados	Conclusão/Principais achados
Broch et al. (2020)	Verificar os diferentes perfis de docentes universitários de Educação Física, considerando a satisfação no trabalho e sua relação com variáveis sociodemográficas e profissionais.	Investigação realizada com 99 docentes de Educação Física vinculados a instituições públicas e privadas do Paraná.	Foram identificados três grupos de docentes. No Grupo 1, observaram-se jornadas excessivas e pouco tempo destinado à vida pessoal e familiar.	A sobrecarga de trabalho esteve associada a elevados níveis de insatisfação laboral.
Choi, Choi e Lee (2021)	Categorizar subgrupos de qualidade do trabalho e identificar seus efeitos sobre o equilíbrio entre vida pessoal e profissional.	Pesquisa com funcionárias da Coreia do Sul, classificadas em cinco perfis ocupacionais.	Os resultados identificaram características organizacionais e sociodemográficas relacionadas ao equilíbrio trabalho e vida.	Destaca-se a necessidade de políticas públicas e organizacionais voltadas à promoção do equilíbrio entre vida pessoal e profissional.
Santos Rocha, Barham e De Santis (2022)	Realizar a adaptação transcultural da *Work/Life Balance Self-Assessment Scale* para o contexto brasileiro.	Aplicação da escala composta por 15 itens relacionados às esferas pessoal e profissional.	A versão brasileira apresentou evidências adequadas de validade e confiabilidade.	O instrumento mostrou-se adequado para utilização em pesquisas nacionais sobre equilíbrio trabalho e vida.

Continua



Continuação

Autor/Ano	Objetivo	Metodologia	Resultados	Conclusão/Principais achados
Dudezert et al. (2023)	Compreender como organizações pré-digitais utilizam a gestão da felicidade em processos de transformação digital.	Estudo realizado em três empresas francesas pré-digitais.	A gestão da felicidade favoreceu um clima emocional positivo, engajamento e inovação.	O uso adequado de estratégias organizacionais pode contribuir para transformações digitais mais humanizadas.
Gülmez et al. (2024)	Desenvolver um modelo matemático voltado à autoseleção de turnos de trabalho.	Experimentação com algoritmos aplicados ao equilíbrio entre vida profissional e pessoal.	A flexibilidade na escolha de horários favoreceu o equilíbrio trabalho e vida.	Algoritmos inteligentes podem auxiliar no planejamento organizacional e na promoção do bem-estar.
Georgellis et al. (2022)	Explorar a relação entre status ocupacional, renda e satisfação com a vida.	Estudo longitudinal realizado com trabalhadores do Reino Unido.	Cargos de maior status apresentaram maior associação com conflitos entre vida pessoal e profissional.	Funções de gestão podem favorecer tensões ocupacionais e reduzir o equilíbrio trabalho e vida.

Fonte: Autoria própria (2026)

De forma similar, os estudos analisados indicam que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional (*work-life balance* - WLB) constitui um elemento estruturante da Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), influenciada por variáveis organizacionais, psicossociais e tecnológicas.

Uma primeira semelhança diz respeito ao efeito direto do desequilíbrio entre trabalho e vida pessoal sobre percepções negativas da Qualidade de Vida no Trabalho (QVT). Estudos como o de Broch et al. (2020) demonstram que trabalhadores que percebem dificuldades na conciliação entre vida profissional e pessoal apresentam níveis mais elevados de insatisfação laboral. A amostra analisada pelos autores era composta por docentes envolvidos em atividades de pesquisa nas instituições de ensino às quais pertenciam. De modo semelhante, Ogunola (2022) evidencia que o *Work-Life Balance* (WLB), quando associado à QVT, influencia significativamente a satisfação no trabalho, indicando que o desequilíbrio entre as esferas pessoal e profissional compromete o bem-estar ocupacional.

Outro ponto de convergência refere-se ao papel mediador do conflito entre trabalho e família. Pesquisas como as de Choi, Choi e Lee (2021) e Harunavamwe e Kanengoni (2023) demonstram que contextos laborais caracterizados por tecnoestresse, demandas excessivas e rigidez organizacional favorecem conflitos entre as esferas profissional e familiar, afetando negativamente o engajamento e, consequentemente, a Qualidade de Vida no Trabalho.



Choi, Choi e Lee (2021), por sua vez, apontam algumas estratégias para a promoção do equilíbrio entre vida pessoal e profissional, como sistemas de gerenciamento das tensões físicas e emocionais relacionadas ao trabalho, férias de longa duração, flexibilidade nos horários laborais e oferta de oportunidades educacionais voltadas ao autodesenvolvimento, entre outras iniciativas organizacionais.

Além disso, observa-se entendimento quanto à importância de políticas de flexibilidade e estratégias organizacionais para promover o equilíbrio e melhorar a QVT. Estudos como os de Dudezert et al. (2023), Gülmez et al. (2024) e Ko, Kim e Kim (2021) indicam que práticas como flexibilidade de horários e uso adequado de tecnologias estimulam um clima emocional positivo, aumentam a satisfação no trabalho e contribuem para melhores níveis de desempenho e bem-estar.

Gülmez *et al.* (2024) em sua pesquisa com profissionais da área da saúde, propõe que os trabalhadores escolham seus horários e turnos de trabalho com flexibilidade visando equilibrar a vida pessoal e profissional. Já na pesquisa de Dudezert, et al. (2023), afirma-se que trabalhadores felizes não apenas criarão valor para a instituição por meio de seus comportamentos e habilidades, mas por meio de um clima emocional positivo. Este clima influencia a maneira como trabalham, como se relacionam e desenvolvem a gestão de suas tarefas.

Os estudos também apresentam semelhanças ao apontar que o WLB atua de forma integrada a outras dimensões da QVT, como engajamento, satisfação no trabalho e comprometimento afetivo. Pesquisas de Lamichhane, Bhaumik e Gnawali (2023) e Yadav, Pandita e Singh (2022) demonstram que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional está positivamente relacionado ao engajamento dos funcionários, o qual, por sua vez, fortalece a QVT e os resultados organizacionais. Yuh (2022) mostra que fatores extraorganizacionais, como a satisfação com o lazer, potencializam a relação entre comprometimento afetivo e qualidade de vida no trabalho.

Por fim, estudos de validação instrumental, como os de Santos Rocha, Barham e De Santis (2022) e Salès-Wuillemin et al. (2024), reforçam que o equilíbrio trabalho e vida pessoal não é apenas um constructo abstrato, mas um componente estruturado e validado nos modelos contemporâneos de avaliação da QVT.

A análise dos estudos evidencia que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional *(Work-Life Balance* – WLB) configura-se como elemento estruturante na compreensão da Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), mantendo associações consistentes com níveis de satisfação, engajamento, desempenho e bem-estar organizacional. Tal constatação dialoga diretamente com o modelo clássico de QVT proposto por Walton (1973), que compreende a qualidade de vida no trabalho como um construto multidimensional composto por oito categorias inter-relacionadas, dentre as quais se destaca a "integração entre trabalho e espaço total de vida" (Walton, 1973).

Os resultados indicam que a ruptura do equilíbrio entre demandas profissionais e pessoais tende a elevar a insatisfação laboral e reduzir a percepção de bem-estar. No estudo com docentes de Educação Física, verificou-se que os profissionais mais insatisfeitos apresentavam comprometimento significativo na articulação entre trabalho e vida pessoal, evidenciando que o conflito de papéis interfere negativamente na percepção do ambiente ocupacional. Essa evidência confirma a proposição de Walton (1973) de que a qualidade de vida no trabalho depende da compatibilidade entre o exercício profissional e as demais esferas da vida do indivíduo.

Investigações realizadas em diferentes contextos organizacionais também demonstraram que o conflito entre trabalho e família, bem como as tensões associadas ao uso excessivo de tecnologias no ambiente



laboral, tendem a reduzir o engajamento e a satisfação dos trabalhadores. Sob a ótica do modelo de Walton (1973), tais fenômenos podem ser compreendidos como fragilizações nas dimensões relacionadas às condições de trabalho, à segurança, à saúde e à integração social na organização, uma vez que a sobrecarga laboral pode comprometer recursos emocionais e a percepção de suporte

Estudos quantitativos e de delineamento causal evidenciaram ainda que o WLB apresenta associação positiva e estatisticamente significativa com a QVT e com o desempenho profissional. Esse achado reforça que o equilíbrio não constitui apenas variável periférica, mas componente estruturante da experiência laboral, influenciando múltiplas dimensões propostas por Walton (1973), incluindo oportunidade de uso e desenvolvimento de capacidades, constitucionalismo e relevância social do trabalho na vida.

Adicionalmente, políticas organizacionais baseadas em flexibilidade, autonomia decisória e suporte institucional mostraram-se eficazes na promoção do equilíbrio trabalho e vida, repercutindo positivamente sobre clima organizacional e engajamento. Essas estratégias podem ser interpretadas, à luz de Walton (1973), como práticas que fortalecem a dignidade do trabalhador, ampliam sua participação nas decisões e favorecem condições de trabalho mais humanizadas.

No campo psicométrico, a incorporação explícita do equilíbrio trabalho e vida em escalas contemporâneas de QVT confirma a centralidade dessa dimensão, em consonância com a categoria "trabalho e espaço total de vida" descrita por Walton (1973). Além disso, a influência de variáveis moderadoras — como *status* ocupacional e satisfação com o lazer — reforça a natureza contextual e sistêmica da QVT, conforme a perspectiva abrangente defendida pelo autor.

A evidência de que o equilíbrio integra escalas validadas contemporâneas de QVT demonstra a atualidade do modelo de Walton, cuja concepção permanece consistente com as demandas organizacionais do século XXI. Ademais, a associação positiva entre equilíbrio, engajamento e desempenho indica que políticas de integração trabalho e vida contribuem simultaneamente para bem-estar individual e eficácia organizacional, aspecto já previsto na formulação original do autor.

Assim, os resultados confirmam que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional influencia a QVT de maneira estrutural e multifacetada, atravessando diversas dimensões do modelo de Walton (1973) e consolidando-se como elemento estratégico para a promoção da sustentabilidade organizacional e da saúde ocupacional.

Em resumo, o modelo clássico de Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) proposto por Richard E. Walton (1973) estabelece oito dimensões fundamentais: (1) compensação justa e adequada; (2) condições de trabalho; (3) uso e desenvolvimento de capacidades; (4) oportunidades de crescimento e segurança; (5) integração social na organização; (6) constitucionalismo; (7) trabalho e espaço total de vida; e (8) relevância social do trabalho.

Dentre essas dimensões, destaca-se a categoria "trabalho e espaço total de vida", que se refere diretamente ao equilíbrio entre as demandas profissionais e a vida pessoal, reconhecendo que o trabalho não deve comprometer a integridade das demais esferas da existência.

Os achados contemporâneos corroboram e ampliam essa proposição teórica, demonstrando que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional (*Work-Life Balance* – WLB) não apenas integra a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT), mas também atua como elemento estruturante de suas demais dimensões. Os estudos analisados convergem ao indicar que o equilíbrio entre vida pessoal e



profissional contribui para a redução da exaustão ocupacional e dos conflitos de papéis. Broch *et al.* (2020) identificaram que docentes submetidos a jornadas exaustivas e com pouco tempo destinado à vida pessoal e familiar apresentavam maiores níveis de insatisfação laboral.

De forma convergente, Georgellis *et al.* (2022) evidenciam que cargos de maior status, embora elevem renda e reconhecimento, intensificam conflitos entre trabalho e vida pessoal, revelando tensões entre ascensão profissional e bem-estar individual. Além disso, Lamichhane, Bhaumik e Gnawali (2023) demonstram relação positiva entre equilíbrio entre vida pessoal e profissional, engajamento e desempenho laboral. De modo semelhante, Yadav, Pandita e Singh (2022), em revisão sistemática da literatura, reforçam que políticas de integração entre trabalho e vida pessoal favorecem maiores níveis de engajamento dos trabalhadores e maior eficácia organizacional.

À luz de Walton (1973), esses resultados mostram que o equilíbrio não afeta apenas a dimensão "espaço total de vida", mas também o uso e desenvolvimento de capacidades, as oportunidades de crescimento e a integração social. Além disso, os estudos analisados demonstram que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional depende de condições estruturais organizacionais. Os achados de Gülmez et al. (2024) sobre autoseleção de turnos e de Ko, Kim e Kim (2021) sobre trabalho inteligente evidenciam que a flexibilidade organizacional favorece o equilíbrio entre as esferas pessoal e profissional. De modo semelhante, Harunavamwe e Kanengoni (2023) indicam que as tensões associadas ao uso excessivo de tecnologias no ambiente de trabalho intensificam o conflito entre trabalho e família, reduzindo o engajamento dos trabalhadores.

Esses resultados dialogam com as dimensões propostas por Walton (1973) relativas às condições de trabalho e ao constitucionalismo, pois evidenciam que a Qualidade de Vida no Trabalho depende de estruturas organizacionais que respeitem limites e promovam autonomia. Além disso, os estudos analisados indicam que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional constitui uma dimensão formal da QVT contemporânea. A construção da QUALTRA-Scale (Salès-Wuillemin *et al.*, 2024) confirma empiricamente o equilíbrio trabalho e vida como uma das seis dimensões centrais da Qualidade de Vida no Trabalho, validando o entendimento originalmente proposto por Walton (1973).

Da mesma forma, a adaptação brasileira da *Work/Life Balance Self-Assessment Scale* (Santos Rocha; Barham; De Santis, 2022) fortalece a mensuração científica do construto no contexto nacional. Há, contudo, divergências e nuances interpretativas entre os estudos analisados. Embora os resultados apontem convergências quanto à relevância do equilíbrio entre vida pessoal e profissional para a Qualidade de Vida no Trabalho, algumas pesquisas evidenciam tensões associadas às exigências organizacionais contemporâneas. Georgellis *et al.* (2022), por exemplo, demonstram que cargos de maior status e reconhecimento profissional, apesar de proporcionarem melhores condições salariais e prestígio ocupacional, também tendem a ampliar os conflitos entre demandas profissionais e vida pessoal. Esse paradoxo revela que a ascensão profissional nem sempre está associada ao aumento do bem-estar dos trabalhadores, podendo intensificar pressões ocupacionais e comprometer o equilíbrio entre as diferentes esferas da vida.

Em síntese, quando preservado, o equilíbrio entre vida pessoal e profissional reduz a exaustão ocupacional e os conflitos entre trabalho e família, amplia os níveis de satisfação e engajamento, favorece o desempenho laboral e contribui para a construção de um clima organizacional mais positivo e sustentável. Em contrapartida, quando comprometido, tende a gerar insatisfação, tensões ocupacionais e prejuízos à Qualidade de Vida no Trabalho.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto das organizações contemporâneas, promover o equilíbrio entre vida pessoal e profissional constitui um desafio relevante para gestores e instituições. O presente estudo teve como objetivo identificar o panorama atual da temática equilíbrio entre vida pessoal e profissional por meio de uma revisão integrativa da literatura. Além disso, buscou analisar os fatores associados ao equilíbrio trabalho e vida, compreender suas relações com a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) e identificar estratégias organizacionais voltadas à promoção do bem-estar e do engajamento dos trabalhadores.

A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível responder à questão de pesquisa proposta: de que maneira o equilíbrio entre a vida pessoal e profissional afeta a Qualidade de Vida no Trabalho? Os resultados demonstram que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional influencia diretamente a QVT, favorecendo maiores níveis de satisfação, bem-estar, engajamento e desempenho laboral.

Os estudos analisados sobre equilíbrio entre vida pessoal e profissional, também denominado *Work-Life Balance* (WLB), evidenciam relações com a QVT nas dimensões organizacional, psicossocial e tecnológica. Dessa forma, o equilíbrio entre as esferas pessoal e profissional configura-se como um tema relevante na sociedade contemporânea, justificando a importância desta pesquisa.

Confirmando a hipótese do estudo, os artigos analisados demonstram que o equilíbrio entre vida pessoal e profissional influencia a QVT de maneira direta, favorecendo a satisfação, bem-estar e engajamento dos trabalhadores. Além disso, fatores relacionados às tensões provenientes do uso excessivo de tecnologias no ambiente laboral, ao conflito entre trabalho e família e à percepção de suporte organizacional também se associam às condições de qualidade de vida no Trabalho. Assim, o *Work-Life Balance* (WLB) emerge como um fator estratégico para a promoção da saúde ocupacional e da eficácia organizacional.

As organizações precisam compreender que, na ausência de equilíbrio entre vida pessoal e profissional, torna-se mais difícil alcançar níveis consistentes de satisfação, comprometimento e engajamento dos trabalhadores. Considerando que as organizações atuam orientadas por objetivos financeiros, sociais e institucionais, negligenciar esse equilíbrio pode comprometer resultados organizacionais e a própria sustentabilidade institucional.

Além disso, mostra-se fundamental o comprometimento de todos os níveis hierárquicos, desde a alta gestão até os demais setores organizacionais. Nesse sentido, a implementação de políticas claras, estruturadas e continuamente monitoradas pode contribuir para a construção de ambientes de trabalho mais saudáveis, produtivos e alinhados às necessidades dos trabalhadores e das organizações.

Dentre as limitações deste estudo, destaca-se a utilização exclusiva de evidências teóricas obtidas por meio da revisão integrativa da literatura. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras desenvolvam estudos observacionais e experimentais voltados à coleta de informações diretamente com trabalhadores de organizações públicas e privadas, ampliando a compreensão sobre as relações entre equilíbrio vida pessoal-profissional e Qualidade de Vida no Trabalho.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, Louise de Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. Gestão e Sociedade, Belo Horizonte, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011. DOI: https://doi.org/10.21171/ges.v5i11.1220. Disponível em: https://ges.face.ufmg.br/index.php/gestaoesociedade/article/view/1220. Acesso em: 14 abr. 2026.

BROCH, Caroline; BOTH, Jorge; TEIXEIRA, Fabiana Cristine; PIZANI, Juliana; BARBOSA-RINALDI, Ieda Parra. A satisfação no trabalho docente em educação física: um diagnóstico do perfil de professores universitários. Journal of Physical Education, Maringá, v. 31, n. 1, p. e3179, 2020. DOI: https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v31i1.3179. Disponível em: https://www.scielo.br/j/jpe/a/XQgv35Ds6jJLFL59rPqvHhh/. Acesso em: 14 abr. 2026.

BROOME, Marion E. Integrative literature reviews for the development of concepts. In: RODGERS, Beth L.; CASTRO, Aldemar Araújo (org.). Revisão sistemática e meta-análise. 2006.

CHOI, E. Y.; CHOI, S.-H.; LEE, H. Association between job quality profiles and work–life balance among female employees in Korea: a latent profile analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 4, p. 1672, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph18041672. Disponível em: https://www.mdpi.com/1660-4601/18/4/1672. Acesso em: 14 abr. 2026.

DUDEZERT, A.; LAVAL, F.; SHIRISH, A.; MITEV, N. When companies make your day: happiness management and digital workplace transformation. Journal of Global Information Management, v. 31, n. 5, p. 1-35, 2023. DOI: https://doi.org/10.4018/JGIM.322386. Disponível em: https://www.igi-global.com/article/when-companies-make-your-day/322386. Acesso em: 14 abr. 2026.

FERNANDES, Eda Conte. Qualidade de vida no trabalho: como medir para melhorar. Salvador: Casa da Qualidade, 1996.

FERREIRA, Mário César. Qualidade de vida no trabalho: uma abordagem centrada no olhar dos trabalhadores. Brasília, DF: Edições Ler, Pensar, Agir, 2011.

GEORGELLIS, Yannis; CLARK, Andrew E.; APERGIS, Emmanuel; ROBINSON, Catherine. Occupational status and life satisfaction in the UK: the miserable middle? Journal of Economic Behavior & Organization, v. 204, p. 509-527, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jebo.2022.10.045. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268122003857. Acesso em: 14 abr. 2026.

GÜLMEZ, Erhan; KORUCA, Halil Ibrahim; AYDIN, Mehmet Emin; URGANCI, Kadir Burak. Heuristic and swarm intelligence algorithms for work-life balance problem. Computers & Industrial Engineering, v. 187, p. 109857, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109857. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835223009488. Acesso em: 14 abr. 2026.



HACKMAN, J. R.; OLDHAM, G. R. Development of the Job Diagnostic Survey. Journal of Applied Psychology, v. 60, n. 2, p. 159-170, 1975. DOI: https://doi.org/10.1037/h0076546. Disponível em: https://psycnet.apa.org/record/1975-22031-001. Acesso em: 14 abr. 2026.

HARUNAVAMWE, Monicah; KANENGONI, Herbert. Hybrid and virtual work environments: the interplay between technostress, perceived organizational support, work-family conflict and impact on work engagement. African Journal of Economic and Management Studies, v. 14, n. 2, p. 252-270, 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/AJEMS-07-2022-0306. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AJEMS-07-2022-0306/full/html. Acesso em: 14 abr. 2026.

KO, Eun-Jeong; KIM, A-Hyun; KIM, Sung-Soo. Toward the understanding of the appropriation of ICT-based smart-work and its impact on performance in organizations. Technological Forecasting and Social Change, v. 171, p. 120994, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120994. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162521003681. Acesso em: 14 abr. 2026.

LIMONGI-FRANÇA, Ana Cristina. Qualidade de vida no trabalho: conceitos e práticas nas empresas da sociedade pós-industrial. São Paulo: Atlas, 2003. DOI: https://doi.org/10.26668/businessreview/2023.v8i8.3338. Disponível em: https://openaccessojs.com/JBReview/article/view/3338. Acesso em: 3 dez. 2025.

LIMONGI-FRANÇA, A. C. Qualidade de vida no trabalho: conceitos e práticas nas empresas da sociedade pós-industrial. São Paulo: Atlas, 2003.

OGUNOLA, Adeyinka A. Professional quality of life and work-life balance as predictors of employee job satisfaction. TAZKIYA Journal of Psychology, v. 10, n. 1, p. 74-84, 2022. DOI: https://doi.org/10.15408/tazkiya.v10i1.22499. Disponível em: https://journal.uinjkt.ac.id/tazkiya/article/view/22499. Acesso em: 3 dez. 2025.

RUSSO, Alessandra; MANSOURI, Mohamed; SANTISI, Giuseppe; ZAMMITTI, Antonino. Psychological flexibility as a resource for preventing compulsive work and promoting well-being: a JD-R framework study. International Journal of Organizational Analysis, v. 33, n. 12, p. 18-34, 2025. DOI: https://doi.org/10.1108/IJOA-09-2024-4834. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOA-09-2024-4834/full/html. Acesso em: 14 abr. 2026.

SALÈS-WUILLEMIN, Edith; GABARROT, Fabien; MINONDO-KAGHAD, Bérengère; CHAPPÉ, Julien; GÉLIN, Marion; DOLARD, Anne. Validation d'une échelle de qualité de vie au travail: la QUALTRA-Scale. Pratiques Psychologiques, v. 30, n. 4, p. 223-245, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prps.2024.04.001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1269176324000282. Acesso em: 14 abr. 2026.

SANTOS, Lúcia Alves; FERREIRA, Mário César. Qualidade de vida no trabalho em risco no contexto de uma instituição de ensino superior. Estudos de Psicologia (Natal), v. 28, n. 3, p. 363-373, 2023. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-294X2023000300363. Acesso em: 14 abr. 2026.



SANTOS ROCHA, Fernanda; BARHAM, Elizabeth Joan; DE SANTIS, Luciana. Work/Life Balance Self-Assessment Scale: adaptação brasileira e evidências de validade. Revista Psicologia: Organizações e Trabalho, v. 22, n. 3, p. 2119-2127, 2022. DOI: https://doi.org/10.5935/rpot/2022.3.23507. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/pdf/rpot/v22n3/v22n3a13. pdf. Acesso em: 14 abr. 2026.

ŠMITE, D.; MOE, N. B.; KLOTINS, E.; GONZÁLEZ-HUERTA, J. From forced working-from-home to voluntary working-from-anywhere: Two revolutions in telework. Journal of Systems and Software, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.111509. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121222001972. Acesso em: 3 dez. 2025.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. Einstein (São Paulo), v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134. Disponível em: https://journal.einstein.br/article/integrative-review-what-is-it-how-to-do-it/. Acesso em: 14 abr. 2026.

WALTON, Richard E. Quality of working life: what is it? Sloan Management Review, Cambridge, v. 15, n. 1, p. 11-21, 1973. Disponível em: https://www.econbiz.de/Record/quality-of-working-life-what-is-it-walton-richard/10002991447. Acesso em: 14 abr. 2026.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. Einstein (São Paulo), v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134. Disponível em: https://journal.einstein.br/article/integrative-review-what-is-it-how-to-do-it/. Acesso em: 14 abr. 2026.

YUH, Jongil. The impact of affective commitment and leisure satisfaction on employees' quality of life. The Open Psychology Journal, v. 15, n. 1, 2022. DOI: https://doi.org/10.2174/18743501-v15-e2205111. Disponível em: https://www.openpsychologyjournal.com/VOLUME/15/ELOCATOR/e187435012205111/FULLTEXT/. Acesso em: 14 abr. 2026.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_2

DESIGN OF ACTUATORS APPLIED TO A UPPER LIMB ORTHOSIS

Guilherme de Paula Rúbio
Universidade Federal de Minas Gerais
guilhermeprubio@ufmg.br

Fernanda Marcia Rodrigues Martins Ferreira
Universidade Federal de Minas Gerais
nanda_rodrigues06@gmail.com

Fabrício Henrique de Lisboa Brandão
Universidade Federal de Minas Gerais
fabriciohlisboa@gmail.com

Victor Flausino Machado
Universidade Federal de Minas Gerais
victor.fmachado72@gmail.com

Leandro Gonzaga Tonelli
Universidade Federal de Minas Gerais
ltonellig@gmail.com

Renan Fernandes Kozan
Universidade Federal de Minas Gerais
renankozan@gmail.com

Claysson Bruno Santos Vimieiro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
claysson@pucminas.br

ABSTRACT

This work aims to develop a system of low volume electromechanical actuators for an upper limb rehabilitation robotic orthosis in post-stroke individuals. Through the selection of high torque and low volume motors and the design of mechanisms to simulate the user's hand and elbow physiological movements, transmissions systems and a control system using a microcontroller combined with a sensor, was possible developed them. Using artificial tendons system and artificial phalanges for the hand actuator and a four-bar mechanism for the elbow actuator coupled with powers screws transmission, a microcontroller STM32F103, encoder KY-040 and stop sensors for safety, it was possible developed actuators for two modulus, hand and elbow, performing the hand opening on 2.51s with 0.8Nm of torque and the elbow flexion and extension on 4.43s with 12Nm of torque, with angle control of both movements, in that way promote the user's rehabilitation.

Keywords:
Machine Design, Upper limb Orthosis, Assistive Technology

RESUMO

Este trabalho visa desenvolver um sistema de atuadores eletromecânicos de baixo volume para uma órtese robótica de reabilitação do membro superior em indivíduos pós-AVC. Através da seleção de motores de alto torque e baixo volume e do projeto de mecanismos para simular os movimentos fisiológicos da mão e do cotovelo do usuário, sistemas de transmissão e um sistema de controle utilizando um microcontrolador combinado com um sensor, foi possível desenvolvê-los. Utilizando um sistema de tendões e falanges artificiais para o atuador da mão e um mecanismo de quatro barras para o atuador do cotovelo, acoplado a uma transmissão por fusos de esferas, um microcontrolador STM32F103, um encoder KY-040 e sensores de parada para segurança, foi possível desenvolver atuadores para dois módulos, mão e cotovelo, realizando a abertura da mão em 2,51s com 0,8Nm de torque e a flexão e extensão do cotovelo em 4,43s com 12Nm de torque, com controle angular de ambos os movimentos, promovendo assim a reabilitação do usuário.

Palavras-chave:
Projeto de máquinas, órtese para membros superiores, tecnologia assistiva.

INTRODUCTION

The World Health Organization (WHO) defines stroke as a sudden interruption of blood flow to the brain tissue due to ischemia or hemorrhage, resulting in the death of brain cells and, consequently, partial loss of neurological function (WHO, 2012). The stroke is the second largest cause of death in the world, accounting for 6.7 million deaths in 2012 G.P. Rúbio, F.M.R.M Ferreira, F. H. L. Brandão, V.F. Machado, L.G. Tonelli, R.F. Kozan and C.B.S.Vimieiro Design of Actuators Applied to a Upper Limb Orthosis 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2019)

October 20-25, 2019, Uberlândia, MG, Brazil (WHO, 2014). In Brazil, among the death main causes, cerebrovascular diseases are in the first place, followed by acute myocardial infarction. The WHO estimates up until 2030, stroke remains the world's second-leading death cause, accounting for 12.2% of deaths predicted for the year (WHO, 2013).

According to the location, extent and lesion severity, the stroke carries a variety of motor, sensory and cognitive disabilities (Langhorne *et al.*, 2011). Among these deficiencies, the upper limb motor function commitment are the most common and affect about of 50-70% of patients in the acute phase (Nakayama *et al.* 1994; Persson *et al.* 2012) and 40% in the chronic phase (Broeks *et al.* 1999; Parker *et al.* 1986; Prange *et al.* 2006). Evidence in the literature indicates that 6 months after stroke, about 30 to 66% of patients do not present upper limb function on the affected side, and only 5% to 20%, demonstrate a complete recovery of functional activities (Kwakkel *et al.*, 2008).

Researches have been carried out with the objective of seeking the best interventions for the rehabilitation of these individuals, with a view to functional return, providing greater independence in activities of daily living, greater social participation and quality of life (Prange *et al.* 2006; Nichols-Larsen *et al.* 2005; Araújo 2011; Maciejasz *et al.* 2014). One of the alternatives to assist in the recovery of individuals with partial paralysis in the upper limbs is the use of robotic orthoses that facilitate cortical reorganization resulting in an increase in the patient's motor ability and elevating performance in functional activities (Liepert *et al.*, 2001). According to Maciejasz *et al.* (2014) "rehabilitation robots" are mechatronic devices ranging from artificial limbs to robots that aim to aid in the recovery of patients in rehabilitation therapy or as personal assistants in hospital settings or residences.

The most popular devices for the purpose of upper limb movement recovery are MIT-Manus (Krebs *et al.*, 1998), MIME (Lum *et al.*, 2006), ARM-Guide (Kahn *et al.*, 2006), NeReBot (Masieiro *et al.*, 2007), ARMin (Nef *et al.*, 2007) and BI-MANU-TRACK (Hesse *et al.*, 2003). However, these devices present some disadvantages: they are imported equipment making it difficult to buy them in Brazil, they are robust, bulky and heavy devices without portability, interfering in the accomplishment of daily activities.

The Laboratório de Bioengenharia (LabBio) of Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) developed a device to aid in the recovery of patients who suffered from stroke and have partial paralysis of the upper limbs, which represents an advance in relation to commercially available equipment in Brazil and abroad. Competitive differentials relate to: structure, control system and portability. In order to make the device capable of being easily used, it became necessary to design actuators that could make it light and practical. In this work, the development of electromechanical actuators for application in an upper limb orthosis for the rehabilitation of post-stroke individuals is presented.

2. METHODOLOGY

The orthosis presents a modular and adjustable structure (hand module and elbow module) performing hand opening movements (from fingers II to V) and flexion and extension of the elbow. For the operation of the device, actuators were designed containing motor, actuation mechanism, transmission system and control system. As the device had to have a reduced weight and high portability, the motor was the first item to be analyzed, taking into account its weight and torque, so that the equipment performed all the desired movements and defined all the used mechanisms and parameters. The second project item was the mechanisms that perform the movements. With them, the transmission system was designed to ensure the necessary force for the execution of the activities arrives in the effectors. Finally, a system that controls the correct position of the user limb safely was selected, as close to the physiological as possible.

2.1 Motor selection

The motors used in the hand and elbow module were selected considering the benches and clinical test in a robotic orthosis to users with upper limb disabilities in Rocha (2007) and Araújo (2011) works. With this information and after a pilot study in post-stroke patients with limited upper limb function (COEP-ETIC-0439.0.203.000-10) the necessary torque to perform the flexion and extension elbow and extension fingers were defined. Therefore, a 0.8Nm value of torque was set for the hand module and 12Nm for the elbow module. The other point analyzed was the motor weight and dimensions. The actuator must be directly coupled to the structure, to do so, the motor must have the smallest possible weight and length combined with satisfactory torque.

2.2 Mechanisms of the hand and elbow module

Using the Araújo (2011) work as a reference, it was decided to use a cable, artificial tendons, coupled to fingerstalls for the hand opening mechanism, by traction and relaxation of tendons. However, only the artificial tendons were not enough for the full opening of the hand. Artificial phalanges were developed where the artificial tendons are coupled in their interior making the complete opening of the hand. The artificial phalanges limit the movement of each user's phalanges avoiding higher than physiological amplitudes. Thus, in order to perform the opening movement of the hand, the artificial tendon that pulls the distal phalange must be tensioned, making the movement of rotation about the axis of its articulation. The rotation movement occurs until the moment the angle between the intermediate and

distal phalanx is 180°, at this point, the artificial phalanges have a limiter that prevents the distal phalanx continuing its movement. With the tendon still being tensioned, the rotation movement is now around the axis of rotation of the intermediate phalange articulation. The rotation movement of the intermediate phalange follows until 180° angle is made with the proximal phalange, at which point the movement limiter again acts ceasing the rotation movement of the intermediate phalange, making the only movement present the is in proximal phalange. To stop the movement is actuated travel limiter present in the transmission box of the hand actuator, limiting the movement of the nut of the transmission system performing the complete opening of the hand, how shown in Fig. 1.

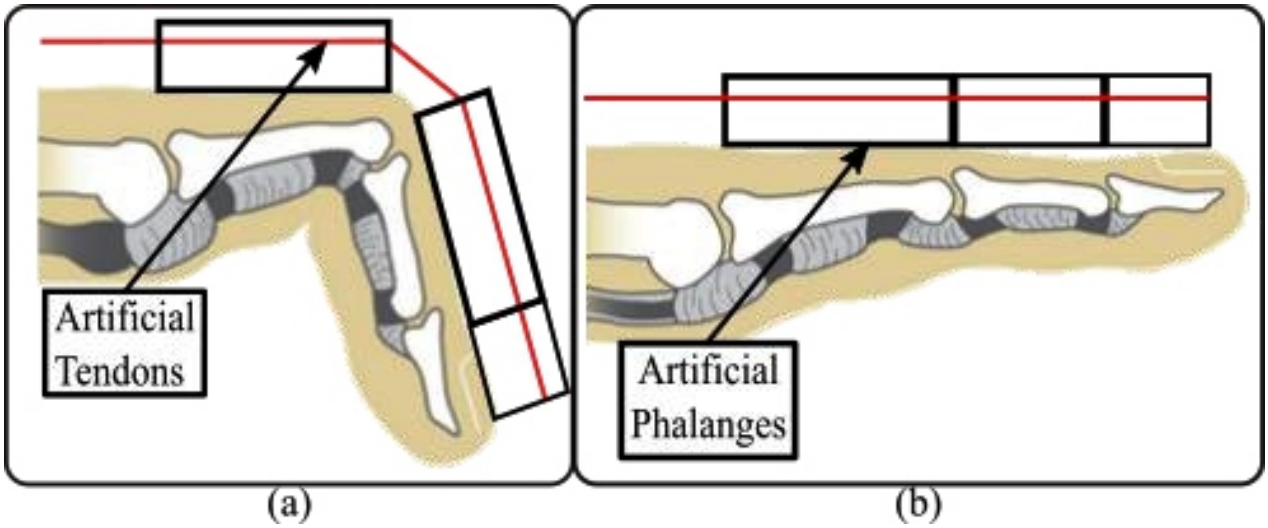


Figure 1. Schematic representation of the mechanism operation: (a)flexion, (b)extension

As for the design of the mechanism elbow module, a system was designed to emulate the flexion and extension of the elbow. After reviewing mechanism projects and considering that the system should be light and compact, it has opted for the design of a rotating rod system, which has its rotation axis concentric to the rotation axis of the elbow joint which is connected to the hand module. For this, a four bars system was used, with three rotating joints and a linear joint, making the system compact. According to Fig. 2 the rotating joints A and D are shafts made by screws for coupling of mechanism to the structure, the linear joint B is the power screw, also used like system of transmission of the motor, generating the force for operation of the mechanism (F) and the rotation joint C is the union between the power screw nut and link 3, which is the arm rotation rod thus making the elbow flexion and extension and represents the output torque (M) of the mechanism. The links 1 and 2 represents the coupling of the motor with the power screw and the motor mount to the structure.

The first determined item was the length of the link responsible for the output torque that would rotate the rod with a minimum torque, the value of 12Nm. Thus, following the diagram is shown in Fig. 2, the output force of the linear joint

(F) was related to the output torque link lever arm (L_3) and the angle between the two links (ϑ), resulting in the mechanism output torque (M). To calculate the input force of the mechanism, the Eq. 1 was used following the Budynas and Nisbett (2011) methodology for the power screw design, where T is the maximum torque of the motor, d_m is the mean diameter of the thread, f) the coefficient of friction between the bolt and the nut and l the height of the thread.

Another analyzed point was the angular movement of the arm rotation rod, resulting in the linear joint length and links 1 and 2, for the flexion and the extension of the elbow, an angular movement of 110° is required. To determine thelength of links 1 and 2, a schematic diagram is developed using SolidWorks® emulating all operating positions of the mechanism.

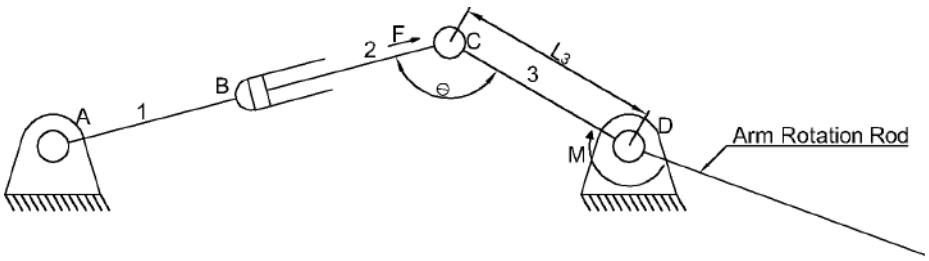


Figure 2. Schematic diagram of the elbow module

$$F = \frac{2T}{d_m} \cdot \left(\frac{\pi d_m - fl}{l + \pi f d_m} \right) \quad (1)$$

2.3 Transmission of the hand and elbow module

For traction and relaxation of the artificial tendons and for the linear joint of the elbow module mechanism, the power screw transmission system was used because of it has a low volume compared to the other systems, allowing its use coupled directly to the body of the orthosis. For the power screws design, it was first defined the length and action time, with the hand opening maximum time set as 3 seconds and elbow flexion or extension time set as 5 seconds defining the pitch and number of threads.

With the design methodology explained by Budynas and Nisbett (2011), it was possible to calculate the minimum dimensions for the transmission system. Following Fig. 3, the stress can be determined on all planes and axis as shown by Eqs. 2 where n_t is the number of engaged threads d_r the root diameter of the thread and p the screw pitch.

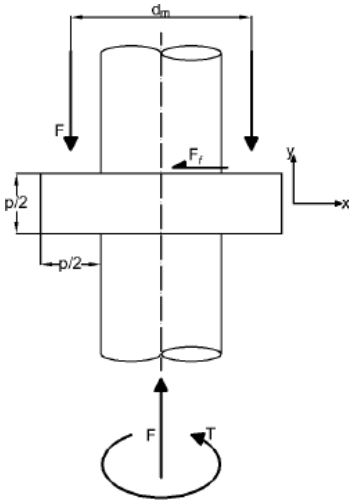


Figure 3. Distribution of screw loads.(Adapted Budynas and Nisbett (2011))

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{6F}{\pi d_r n_t p} & \tau_{xy} &= 0 \\ \sigma_y &= -\frac{4F}{\pi {d_r}^2} & \tau_{yz} &= \frac{16T}{\pi {d_r}^3} \\ \sigma_z &= 0 & \tau_{zx} &= 0 \end{aligned} \tag{2}$$

After calculating all the tensions, it was possible to determine vonMises stress through Eq. 3 to ensure that the com-ponent didn't fail because of stresses.

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right) \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

An Excel® routine was developed with all of these equations to determine the bolt and the nut dimensions of the transmission system. This method was chosen due to the practicality of recalculating all system variables with any combination of pitch, diameter and material without requiring a complex programming language, turning the project more dynamic.

2.4 Control system design

To perform all the orthosis movements, an electronic system was developed to control the actuators. The first item to be analyzed were the sensors to measure the user's hand and elbow position and stop sensors to stop the movement in the physiological limiting positions. Communication between the user and the orthosis was also necessary to determine the position, speed and opening time the user wants to perform the movements. Finally, to manage all the information of the sensors, user commands and to control the operation of the actuators, it becomes necessary for a microcontroller to be able to perform all these tasks.

The sensors were chosen by analyzing their dimensions, weight and compatibility with the mechanical system. to measure the hand and elbow's position, an angular position sensor was selected and as brake sensors, tactile sensors were chosen, which stop the movement as soon as it is touched.

For communication between the user and the control system, a wireless connection was used to promote practicality in use portability.

The last design item was the microcontroller. For this selection, it was necessary to know what types of electrical signals the sensors send, the type control communication used by the user and the electrical signals the motor needs to work. The microcontroller needs to have input and output ports compatible with all these signals and to compare and manipulate them to control the actuator.

3. RESULTS

3.1 Motors

The motors selected were Maxon Motors™ model Ec16® with a GP16A® coupled reduction, which has a reductionof 157: 1, resulting in output torque of 0.797Nm with a nominal output speed of 180 rpm. This choice is justified by the low weight of the reduction motor assembly (61g) and its reduced dimensions (16mm diameter and 78mm length), making it possible to attach directly to the body of the orthosis. The motor works with 12V of voltage and consumes a nominal current of 1.71A, this facilitates its coupling with the microcontroller electric system that operates the low voltage Following the motor, Maxon Motors™ offers the Escon 50/4 EC-S Module® which is a programmable servo con-troller and allows to change the engine characteristics as acceleration and deceleration ramp, safety brake and allows various input signals to manage the operation of the motor. These features were fundamental in the development of the mechanical and electrical systems, because of the variability of motor control options and characteristics made it possible to test numerous configurations of the mechanisms used and controls to make the best choice of them using the same motor due to their flexible settings.

Despite the lower torque than desired for the elbow module system, its use is feasible due to the coupling on the mechanism shown in Fig. 2, thus multiplying the generated torque, reaching the output torque of 12Nm.

3.2 Mechanism

For the hand module, artificial tendons were used, which are cables that relaxing and stressing the fingers. For this, their material is DuPont™ Kevlar® aramid fiber, because it makes them lightweight and resistant to the loads applied by the motor assembly with the transmission system. Three artificial phalanges at each finger were used, made by the 3D printer using PLA. The hand module actuator is shown in Fig. 4.Figure 4. (a)Hand and (b)elbow modulus mechanism.

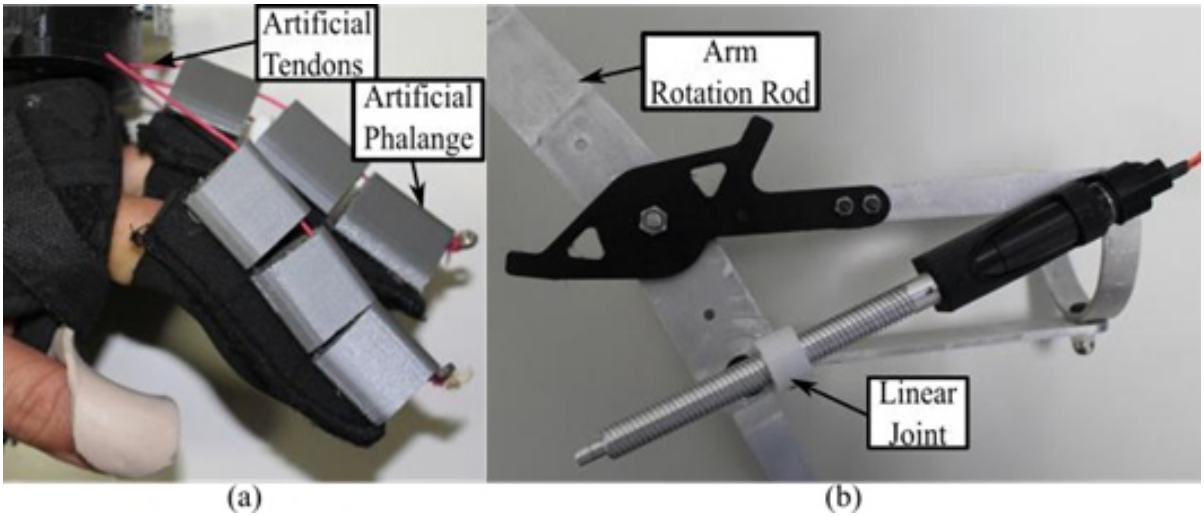


Figure 4. (a)Hand and (b)elbow modulus mechanism.

As the orthosis is for post-stroke patients, the extension movement is active and the flexion is passive because this movement easier to the user, thus the artificial tendons are tensioned for the hand opening movement up to 180° and through a progressive tendons relaxation, reducing the force generated by the transmission system is done the hand closing movement.

For the 4-bar mechanism of the elbow module, the first design item determined was the lever arm of the arm rotation rod (L_3) to obtain a minimum torque of 12 Nm, as shown in Fig. 2. Using the Eq. 1 considering the maximum torque of the motor it was possible to calculate the input force on the link 3 and the angle between the links 2 and 3 a lever arm minimum length of 65mm was determined. Another point of the mechanism is the length of the linear joint to rotate the arm at an angle of 10° to 120°, making a 106mm linear joint length required. The hand and elbow mechanisms module is shown in Fig. 6.

3.3 Transmission System

Power screws were designed for the transmission system of the hand and elbow actuators. The selected materials were the 6063 Aluminum for the bolts and the Nylon for the nuts. They were chosen according to their low coefficient of friction, weight, strength and of the self-lubricating characteristics of nylon.

Using Eqs. 2 and 3, the dimensions of the hand actuator bolt with: 12mm diameter; 2mm pitch and triple thread, of the elbow actuator bolt with: 12mm diameter; 2mm pitch and quadruple thread, and the length of 15mm for the nuts were defined. The maximum stress of Von Mises was 4MPa to the hand module and 11MPa to the elbow module, these values were below than yield stress of the material.

Was necessary a useful length of 45mm for the hand screw and 106mm for the elbow, it was possible to perform the total opening of the hand in 2.51 seconds and the flexion or extension of the elbow in 4.43 seconds, meeting the design requirements. The transmission systems are represented in Fig. 5.

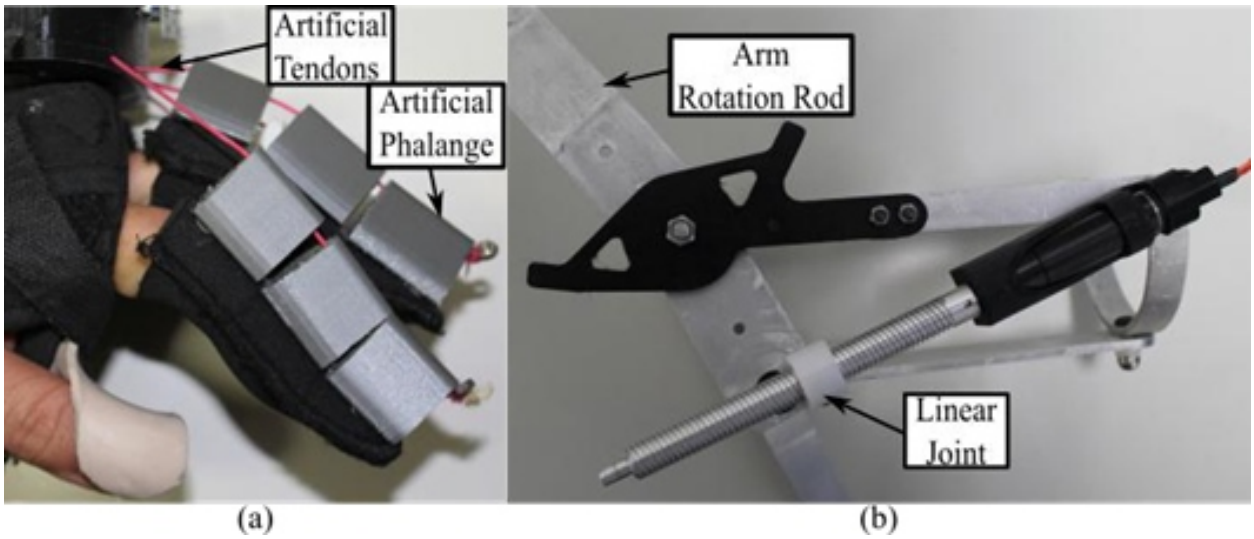


Figure 5. Transmission system of the (a)hand and (b)elbow module.

3.4 Control System

For the control system, a snap action switch was selected as the stop sensor, while to determine the position of the arm and the amount of hand aperture the KY-040 encoder. Four brake sensors were used, each located at the ends of the screw and nut brackets. The encoder was used to measure the elbow modulus rod position and the amount of revolutions of the hand module screw, determining the flexion or extension angle of the elbow and the opening of the hand. To manage the system, the microcontroller STM32F103 was used, which determines the direction and the speed that each motor needs to be, according to the responses of the sensor. The position sensor can be seen in Fig. 6 in which the circled area determines the position of the stop sensor. The position of each sensor is shown in Fig. 6.

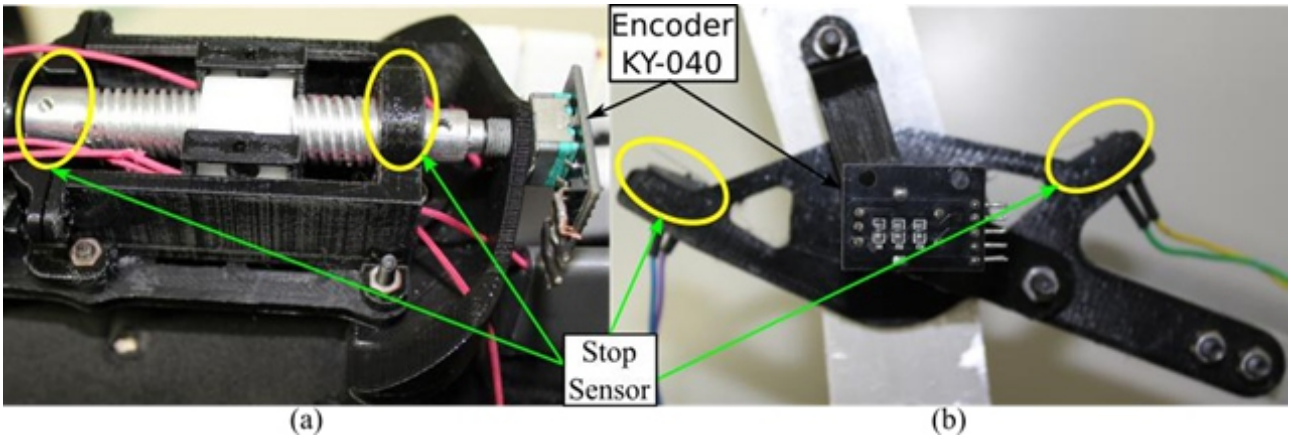


Figure 6. Sensors position of hand module(a) and elbow module(b)

The control of each actuator is represented by a control diagram shown in Fig. 7. The user sends the microcontroller the desired position for the hand or the elbow, the microcontroller receives the command and compares the current position of the member and sends the sense and direction of operation to the actuator. The current position values are updated during every operation until the desired position is reached or one of the brake sensors is activated. The stop sensor acts as a safety sensor because it limits the maximum and minimum position of each limb segment, and if one of them is activated the actuator will not operate.

To the user communicate with the control system was used a Bluetooth HC-05 module, that permits direct communi-cation with cellphones and computers using applications to make a user's interface with the orthosis.

CONCLUSION

For the robotic orthosis actuator development used in upper limb rehabilitation in post-stroke individuals, it was necessary to select the motors and design the mechanism and the transmission and control system. The motors chosen have 0.797Nm of nominal torque made by Maxon Motors™ and they have a programmable control system.

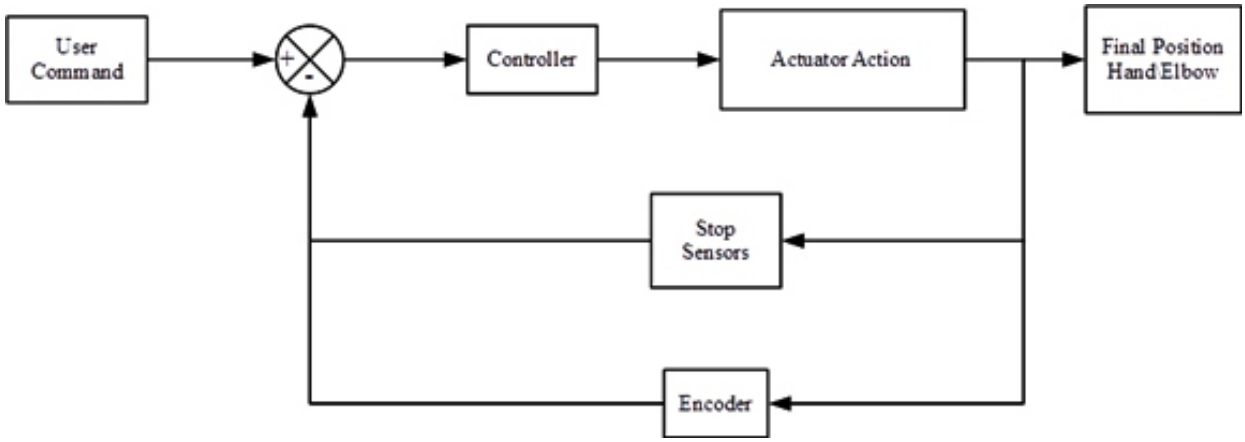


Figure 7. Mechanisms of hand module(a) and elbow module(b)

To the hand module actuator, a mechanism was developed with artificial tendons made by Kevlar® cable assembled to artificial phalanges made in PLA, it performed the extension and flexion the users hand fingers. In the elbow module actuator, a four-bar mechanism was developed with two rotation joint and a linear joint to performed the elbow extension and flexion and multiply the motor torque to 12Nm.

Coupled with the mechanisms a transmissions system was developed using power screws. For the hand module the bolt has 45mm of length, 2mm of pitch and triple thread, and in the elbow module 106mm of length, 2mm of pitch and quadruple thread.

Finally, the control system was designed. Using STM32F103 as a microcontroller, an encoder KY-040, to measure the elbow positions and the hand opening, and a snap action switch as a stop sensor to ensure user safety. With Bluetooth HC-05 module the communication between user and actuator was made and the orthosis made de desire movements. With this coupled components, the orthosis was able to perform the hand opening in 2.51 seconds and elbow flexion or extension in 4.43 seconds and reaching all project requirements.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank UFMG, FINEP, CNPQ and FAPEMIG for all financial support.

REFERENCES

Araújo, R.C.D., 2011. Desenvolvimento e Avaliação de Sistema de Auxílio à reabilitação Motora do Membro Superior Após Acidente Vascular Encefálico. Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Broeks, J.G., Lankhorst, G.J., Rumping, K. and Prevo, A.J.H., 1999. "The long-term outcome of arm function after stroke: results of a follow-up study". Disability and Rehabilitation, Vol. 21, No. 8, pp. 357–364. ISSN 0963-8288. doi:10.1080/096382899297459.

Budynas, R.G. and Nisbett, J.K., 2011. Elementos de Máquinas de Shigley - Projeto de Engenharia Mecânica. McGraw Hill, Porto Alegre, 8th edition. ISBN 978-85-8055-042-9.

Hesse, S., Schulte-Tigges, G., Konrad, M., Bardeleben, A. and Werner, C., 2003. "Robot-assisted arm trainer for the passive and active practice of bilateral forearm and wrist movements in hemiparetic subjects." Arch Phys Med Rehabil, Vol. 84, pp. 915–920.

Kahn, L., Lum, P., Rymer, W. and Reinkensmeyer, D., 2006. "Robot-assisted movement training for the stroke-impaired arm: Does it matter what the robot does?" J Rehabil Res Dev, Vol. 43, No. 5, pp. 619–630.

Krebs, H., Hogan, N., Aisen, M. and Volpe, B., 1998. "Robot-aided neurorehabilitation". IEEE Trans Rehabil Eng, Vol. 6, pp. 75–87.

Kwakkel, G., Kollen, B.J. and Krebs, H.I., 2008. "Effects of Robot-Assisted Therapy on Upper Limb Recovery After Stroke: A Systematic Review". Neurorehabilitation and Neural Repair, Vol. 22, No. 2, pp. 111–121. ISSN 1545-9683. doi:10.1177/1545968307305457.

Langhorne, P., Bernhardt, J. and Kwakkel, G., 2011. "Stroke rehabilitation". The Lancet, Vol. 377, No. 9778, pp. 1693–1702. ISSN 01406736. doi:10.1016/S0140-6736(11)60325-5.

Liepert, J., Uhde, I., Graf, S., Leidner, O. and Weiller, C., 2001. "Motor cortex plasticity during forced-use therapy in stroke patients: a preliminary study." Journal of neurology, Vol. 248, No. 4, pp. 315–321. ISSN 0340-5354. doi:10.1007/s004150170207.

Lum, P., Burgar, C., Van Der Loos, M., Shor, P., Majumbar, M. and Yap, R., 2006. "MIME robotic device for upper-limb neurorehabilitation in subacute stroke subjects: a follow-up study". J Rehabil Res Dev, Vol. 45, No. 5, pp. 631–642.

Maciejasz, P., Eschweiler, J., Gerlach-Hahn, K., Jansen-Troy, A. and Leonhardt, S., 2014. “A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation”. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Vol. 11, No. 1, p. 3. ISSN 1743-0003. doi:10.1186/1743-0003-11-3.

Masieiro, S., Celia, A., Rosati, G. and Armani, M., 2007. “Robotic-assisted rehabilitation of the upper limb after acute stroke.” Arch Phys Med Rehabil, Vol. 88, No. 2, pp. 142–149.

Nakayama, H., Stig Jørgensen, H., Otto Raaschou, H. and Skyhøj Olsen, T., 1994. “Recovery of upper extremity function in stroke patients: The Copenhagen stroke study”. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 75, No. 4, pp. 394–398. ISSN 00039993. doi:10.1016/0003-9993(94)90161-9.

Nef, T., Mihelj, M. and Riener, R., 2007. “ARMin: a robot for patient-cooperative arm therapy”. Med Biol Eng Comput, Vol. 45, No. 9, pp. 887–900.

Nichols-Larsen, D.S., Clark, P., Zeringue, A., Greenspan, A. and Blanton, S., 2005. “Factors Influencing Stroke Sur-vivors' Quality of Life During Subacute Recovery”. Stroke, Vol. 36, No. 7, pp. 1480–1484. ISSN 0039-2499. doi: 10.1161/01.STR.0000170706.13595.4f.

Parker, V.M., Wade, D.T. and Hewer, R.L., 1986. “Loss of arm function after stroke: measurement, frequency, and recovery”. International Rehabilitation Medicine, Vol. 8, No. 2, pp. 69–73. ISSN 0379-0797. doi: 10.3109/03790798609166178.

Persson, H.C., Parziali, M., Danielsson, A. and Sunnerhagen, K.S., 2012. “Outcome and upper extremity function within 72 hours after first occasion of stroke in an unselected population at a stroke unit. A part of the SALGOT study”. BMC Neurology, Vol. 12, No. 1, p. 162. ISSN 1471-2377. doi:10.1186/1471-2377-12-162.

Prange, G.B., Jannink, M.J.A., Groothuis-Oudshoorn, C.G.M., Hermens, H.J. and IJzerman, M.J., 2006. “Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke”. The Journal of Rehabili-tation Research and Development, Vol. 43, No. 2, p. 171. ISSN 0748-7711. doi:10.1682/JRRD.2005.04.0076.

Rocha, D.N., 2007. Desenvolvimento de um sistema de controle para a órtese funcional de mão da UFMG. Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

WHO, 2012. “Stroke, cerebrovascular accident.” World Health Organization. 27 Set 2017 <http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/>.

WHO, 2013. “Health statistics and information systems – projections of mortality and causes of death, 2015 and 2030.” World Health Organization. 22 Nov. 2018 <http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/projections/em>.

WHO, 2014. “The top 10 causes of death.” World Health Organization. 22 Nov. 2018 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/em>.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_3

ELBOW MODULE VALIDATION OF A ROBOTIC ORTHOSIS FOR STROKE REHABILITATION

Guilherme de Paula Rúbio
Universidade Federal de Minas Gerais
guilhermeprubio@ufmg.br

Fernanda Marcia Rodrigues Martins Ferreira
Universidade Federal de Minas Gerais
nanda_rodrigues06@gmail.com

Rina Mariane Alves Dutra
Universidade Federal de São João del-Rei
Universidade Federal de Minas Gerais
rina@ufsj.edu.br

Arthur Mazzini da Mata
Universidade Federal de Minas Gerais
arthurmazzini@ufmg.br

João Paulo Fernandes Bonfim
Universidade Federal de Minas Gerais
jpfb2015@ufmg.br

Claysson Bruno Santos Vimieiro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
claysson@pucminas.br

ABSTRACT

Stroke is a common disease that affects countless people around the world, resulting in sequels in the upper limbs. An upper limb robotic orthosis was developed at LabBio to help post stroke people's rehabilitation. In this study was aimed to theoretically and numerically validate its elbow module through kinematics and dynamics models. For this was used Euler vectorial analysis and finite element method, with Mechanical® module of Ansys®, to ensure the correct functioning of the device, effectiveness, structural integrity, and safety before testing on humans. To movement the user's forearm was estimated torque of 4.8 Nm, however the actuator output torque is greater than the estimated torque, presenting a maximum of 12 Nm. Validating the module to clinical tests, the forearm rod has the maximum stress of 24.98 MPa and strain of 0.012%, with a safety factor of 3.8, and the arm structure has maximum stress of 49.72 MPa, and strain of 0.082%, with a safety factor of 1.91, ensuring the safety and capacity of the elbow module in rehabilitation.

Keywords:
Robotic Orthosis, Elbow Joint, Theoretically Validate, Vectorial Analysis, Structural Analysis

RESUMO

O AVC (Acidente Vascular Cerebral) é uma doença comum que afeta inúmeras pessoas em todo o mundo, resultando em sequelas nos membros superiores. Uma órtese robótica para membros superiores foi desenvolvida no LabBio para auxiliar na reabilitação de pacientes pós-AVC. Este estudo teve como objetivo validar teórica e numericamente o módulo de cotovelo por meio de modelos cinemáticos e dinâmicos. Para isso, foram utilizadas a análise vetorial de Euler e o método de elementos finitos, com o módulo Mechanical® do Ansys®, para garantir o correto funcionamento, a eficácia, a integridade estrutural e a segurança do dispositivo antes dos testes em humanos. Para movimentar o antebraço do usuário, estimou-se um torque de 4,8 Nm; no entanto, o torque de saída do atuador é maior que o estimado, apresentando um máximo de 12 Nm. Validando o módulo por meio de testes clínicos, a haste do antebraço apresentou tensão máxima de 24,98 MPa e deformação de 0,012%, com um fator de segurança de 3,8, enquanto a estrutura do braço apresentou tensão máxima de 49,72 MPa e deformação de 0,082%, com um fator de segurança de 1,91, garantindo a segurança e a capacidade do módulo de cotovelo na reabilitação.

Palavras-chave:
Órtese Robótica, Articulação do Cotovelo, Validação Teórica, Análise Vetorial, Análise Estrutural

INTRODUCTION

The Stroke according to the World Health Organization (WHO) is a sudden interruption of blood flow to brain tissue, due to ischemia or hemorrhage, resulting in the death of brain cells and, consequently, partial loss of neurological func-tion (World Health Organization, 2012). According to the location, amplitude, and severity of the injury, stroke causes a variety of motor, sensory and cognitive deficiencies (Langhorne et al., 2011). Stroke is the main cause of impaired motor functions of the upper limb (O'Donnell et al., 2016). Studies have shown that robotic rehabilitation leads to an improvement in motor function (Araújo *et al.*, 2011).

This is because treatment success is dependent on the intensity and number of repetitions performed in rehabilitation, which are generally less than ideal, when performed manual form by health professionals (Hayward and Brauer, 2015; Stewart *et al.*, 2017), consisting of stimulation of brain plasticity through the passive movement of the affected limb (Langhorne and Legg, 2003; Raffin and Hummel, 2018). The Laboratório de Bioengenharia (LabBio) of the Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), have been developing this type of device, a robotic orthosis for upper limbs to rehabilitate individuals who have suffered a stroke, which also was previously pre-sented at COBEM 2019 (Rúbio *et al.*, 2019). Although, to the use of this device in individuals, it is necessary to validate all the structures' mechanism to ensure safety and effectiveness.

Many robotic orthoses developed have the disadvantage of high weight and volume, such as the prototype called ARMIN-III, an exoskeleton that provides one actuated degree of freedom (DOF) for the elbow joint, and three DOF for the shoulder (Brokaw *et al.*, 2014) and the PNEU-WREX robotic device (Pneumatic Wilmington robotic exoskeleton), capable of generating active force through pneumatic actuators (Reinkensmeyer *et al.*, 2012). Another example is the commercial robotic orthosis, called Myomo e100 (Page *et al.*, 2013), which performs elbow flexion and extension, either actively or passively, and unlike the others apparatus mentioned above, it is a portable orthosis. Although these devices have been used in clinical trials, there exists a lack of theoretical and virtual validation of them before perform bench or functional tests. The device used in this work only validated the hand module (Rúbio *et al.*, 2020), but its elbow module requires a theoretical validation to allow your bench test and clinical trials.

In order to validate this kind of device are several techniques, one form is the numerical analysis and another is using mathematical models of robotic manipulators. One of the validation techniques focuses on prior biomechanical analysis through modeling with CAD (computer-aided design) and later analysis via FEM (Finite Element Method) on the structural parts of the orthoses, this specific work uses generic algorithms for parametric modeling and creation of 3D models for being adapted in CAD and the Voronoi tessellations algorithm (Ricotta *et al.*, 2020). Another validation technique only



analyzes the mechanical properties of the materials used in the manufacture of orthosis for the elbow through simulation, the orthosis was subjected to torque and was analyzed through FEM, using SolidWorks (Koundal and Banwait, 2019).

Because of all show, this work aimed a theoretical/virtual validation of the elbow module of an upper limb orthosis, previously developed by the authors, using mathematical models and numerical analysis, in that the correct functioning of the device, effectiveness, structural integrity, and safety for the user was guaranteed. It was expected that using numerical analysis and mathematical models for the elbow module there will be a validation of its design, ensuring the safety of the device during testing with humans and its correct functioning will be guaranteed without requiring more than one bench test.

2. METHODOLOGY

As showed by Rúbio *et al.* (2019), the apparatus analyzed owns two modules, hand modulus and elbow modulus. Due to this, the validation of this device had two main steps, the artificial tendons validation, previously developed in Rúbio *et al.* (2020), and the elbow module validation. This work focuses on presenting how the elbow module was validated to ensure the safety of the user during the clinical trials. In this section, we present the estimate necessary torque to rotate the user's member, the dynamic model of the actuators, the estimated torque of the elbow joint and the structural analysis of the arm structure and the forearm rotation rod.

2.1 Estimated Torque To Rotate The User's Arm

To ensure the safety of the device, the first step needed was the model development of the loads applied in the user's elbow. In that way, it was needed to known how the rehabilitation process could affect the member and the elbow module structure. Post stroke individuals' rehabilitation consists of functional exercise, which aims to promote cerebral plasticity stimulation, i.e, promotes the reorganization and the regeneration of harmed cortical neurons (Langhorne and Legg, 2003; Raffin and Hummel, 2018). During the elbow rehabilitation session, the individual performs intensive flexion and extensions of the member. Analyzing this motion, it was observed that the necessary torque could be determined by the torque to rotate the set of forearm, hand and hand module. In that way, a dynamic model was developed to show the probable torque to move the elbow over time.

Given these movement dynamics to estimate the torque needed, only the mass of the set was considered as a force against the elbow movement. To model this situation was used a lever arm model, with the entire weight of the set con-centrated in its Center of Gravity (CG) twisting in relation to the center of the elbow articulation at a constant speed and, consequently, angular acceleration was null. We assume the angular acceleration null, including the initial acceleration, because the motor used (EC16® from Maxxon Motors™) uses a driver ESCON 50/4, which allow an acceleration ramp configurable, and in the initial position the torque produced by the set weight was minimum, because the angle with the lever arm and the weight vector was just of 10°.

The elbow joint maximum and minimum angular positions were considered as the necessary range to performed daily life activities. According to Neumann (2011), the maximum amplitude of the elbow joint is 5° to 145°, however, for the common activities of daily life, the arch elbow movement is between 30° to 130°. Due to these features, it was defined that the model amplitude movement was

between 10° up to 120°, to avoid the maximum extension limits and allows most of the daily activities performed by the user. To determine the elbow position over time was considered, a flexion or extension time of 5 seconds. This time allows the user to perform this movement at a speed equivalent to approximately 11% of the maximum speed that a healthy joint promotes (Valevicius *et al.*, 2019). The choice of this operational range aims to ensure safety and not cause injuries to users. The positions were determined using a time step of 10^{-4} seconds.

With these dynamics considerations presented and following the diagram shows in the Fig. 1, the Eq. (1) was used to estimate the necessary torque over time to move the user's elbow, where the R_g term was the distance between the center of the elbow and the relative CG, P was the weight of the set, ϑ_0 was the initial position of the elbow ($\pi/18$ [rad]), ω was the constant velocity ($11\pi/90$ [rad/s]) and Δt was the time analyzed.

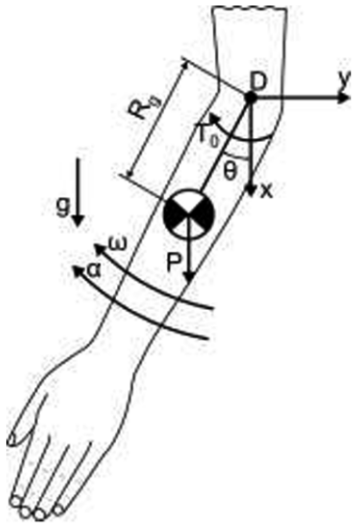


Figure 1: Force diagram of the dynamic model.

$$T_o = P.\,R_g.\sin\left(\theta_0 + \omega\cdot\Delta t\right) \quad (1)$$

In order to determine the weight of the set and your CG location, for the hand and the forearm anthropometric data available in the literature were utilized, whilst for the elbow module the software SolidWorks® was utilized. The forearm and hand mass and CG were determined according to Winter (2009) which says that the hand mass represents 0.6% of the body mass, while the forearm represents 1.6% of the body mass. He also claims that the length of the hand is 10.8% of the individual's total height, while the forearm is 14.6% of the height and the CG location could be obtained through the member length in relation to its proximal location, i.e., the part of the limb most close to the trunk. The hand CG was located in 0.506 times its length and the forearm in 0.430 times its length. Using the MacLeod (2013) data was defined that the average mass of the Brazilian worker was 86 kg and the average height 1.81 m. The last part of the set was the hand module. The mass of the module was directly measured in the prototype, and its CG was determined using a virtual model developed in SolidWorks®, considering its proximal extremity was located at 0.105 m from the elbow joint.

With the data of each part of this set, was determined your relative CG with the reference rotation center as the elbow joint. The Tab. 1 shows the CG location of each component relative to the proximal point of the limb and relative with the elbow joint. Using this, the CG of the set was located at 195.2 mm of the elbow joint, i.e, the lever arm R_g. To find this value, the Eq. 2 was solved using a Matlab®

routine, where m_h, m_f and m_{hm} were the mass of the hand, the forearm and the hand module respectively, and x_h, x_f and x_{hm} were the location of the CG relative to the elbow joint center of the hand, the forearm and the hand module respectively.

Table 1: Mass and CG location of the set: forearm, hand and hand module.

Part set	Mass	Length	CG Relative to	
			Proximal Point	Elbow Joint Center
Forearm	1.376 kg	0.264 m	0.114 m	0.114 m
Hand	0.516 kg	0.196 m	0.099 m	0.363 m
Hand module	0.618 kg	-	0.131 m	0.237 m

$$R_g = \frac{m_h \cdot x_h + m_f \cdot x_f + m_{hm} \cdot x_{hm}}{m_h + m_f + m_{hm}} \tag{2}$$

2.2 Actuator Dynamic Model

The elbow module actuator consisted of a four bar mechanism, which owned three rotation joins (A, C and D joints) one helical joint (B joint), which is the nut of motor and transmission system set. As shows in the Fig. 2a the link 1 is the rod what is coupled the motor and the power screw of the transmission system, the link 2 was the nut (B joint) and in its down right extremity is coupled the rotation joint C, the link 4 is the lever arm which is couple with the forearm rod and rotate the user's arm. Finally, the link 1 is the arm structure, where the joint A and D is coupled. More details about the dimensions and statics characteristics were shown in the authors' previous work (Rúbio *et al.*, 2019). In the Fig. 2a, F_m was the input force provided by the motor and transmission system, also previously calculated in the Rúbio *et al.* (2019) work. That mechanism configuration was the basis of the forwards

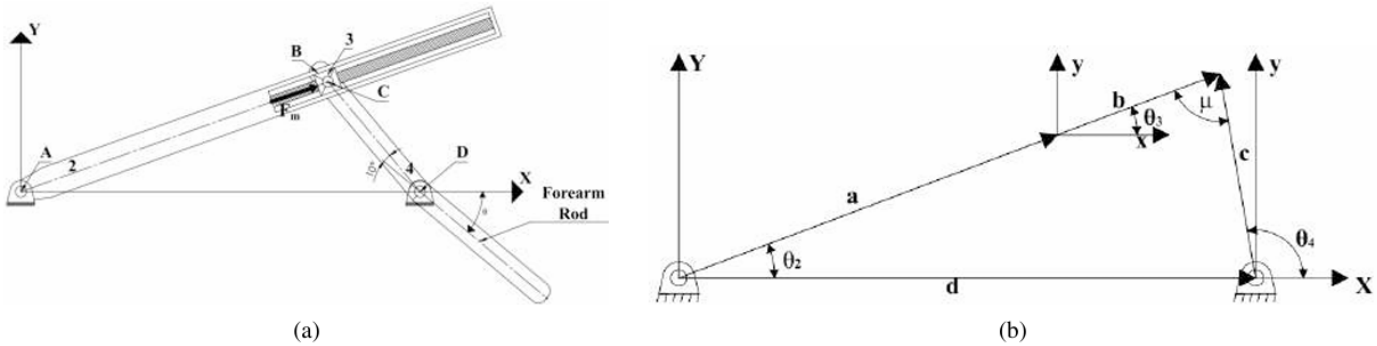


Figure 2: Model mechanical (a) and vectorial (b) diagram.

Following Euler's identity, a vectorial analysis of the mechanism was performed, using the vectors showed in the Fig 2b. The angle ϑ_4 was the position reference of the analysis, since this represents the joint was located centrally with the user's elbow. How could be observed in Fig 2a the angle ϑ_4 was lagged in 10° with the forearm rod, which staid coupled with the individual's forearm. Due to this the angle ϑ_4 varied with same speed of forearm presented in the last section but with the start position of $8\pi/9$ [rad] contrary to the $\pi/18$ [rad] used in the estimated torque equation (Eq. 1). The

time step utilized and the maximum and minimum positions of the forearm rod was also the same as those used in the torque estimation.

The dynamic model was developed to determine the actuator temporal output torque. Firstly was determined the positions of the joints A (ϑ_2), B (b), D (ϑ_4) as shown in the Eq. 3. As presented in Fig 2b, a was the link 2 length (121.96 mm), b was the helical joint variable length, which was co-linear with a, c was the link 4 lever arm length (65 mm) and d was the distance between the rotating joints A and D (181 mm). In order to find out the speeds of the joint A (ω_2) and B ($\dot{b}$), Eq.4 was used. The joint D speed (ω_4) was constant, with the value of 11. π/9 [rad/s]. The accelerations of the joints A (α_2) and B ($\ddot{b}$) were determined using the Eq. 5.

$$\begin{cases} \theta_2(t) = \arccos\left[\frac{(a+b(t))^2 - c^2 + d^2}{2.d.(a+b(t))}\right] \\ b(t) = \sqrt{2.\,c.\,d.\cos(\theta_4(t)) + c^2 + d^2} - a \\ \theta_4(t) = \frac{8.\pi}{9} - \frac{11.\pi}{90}.\,\Delta t \end{cases} \tag{3}$$

$$\begin{cases} \omega_2(t) = \frac{c.\omega_4.\cos(\theta_2(t) - \theta_4(t))}{a+b(t)} \\ \dot{b}(t) = c.\,\omega_4.\sin(\theta_2(t) - \theta_4(t)) \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} \alpha_2(t) = \frac{c.(\omega_4(t))^2.\sin(\theta_2(t) - \theta_4(t)) - 2.\dot{b}(t).\omega_2(t)}{a+b(t)} \\ \ddot{b}(t) = (a + b(t)).\,(\omega_2(t))^2 - c.\,(\omega_4(t))^2.\cos(\theta_4(t) - \theta_2(t)) \end{cases} \tag{5}$$

With the kinematic of each link proper determined, the dynamics of the actuator system was to find out. Using the free body diagrams presented in Fig. 3 was performed the sum of forces relative of the CG in each link. In Fig. 3a was shown the force between the links 1 and 2 (F_{12}), the force applied by the motor (F_m) and its perpendicular component (F_{23t}) and the distance of the CG of the link 2 to the joint A (R_{12}), and to the joint B (R_{32}). Besides, the Fig. 3b shows the force between the links 3 and 4 (F_{34}) and the distance between the CG of the link 3 and the joint C (R_{43}). At last, the Fig. 3c demonstrates the interface force in the links 4 and 1 (F_{14}), the output torque (T_o) and the distance of the CG of the link 4 until the joints C (R_{34}) and D (R_{14}). The distances between the joints and the CG of the links and its moments of inertia were measures using virtual models in SolidWorks® as show in Tab 2.

To better comprehension of the forces in the system, the acceleration of each actuator part was derived in two Cartesian vectors centered in the CG and parallel if the global coordinates' system. The Eq. 6 show the new acceleration components.

Table 2: Inertial properties of the elbow module actuator mechanism links.

Link	Mass [g]	Moment of inertia $\left[\frac{g}{m^3}\right]$	CG Position [mm]	
			x'	y'
2	160.72	0.65	95.17	0
3	9.24	$5.70.\,10^{-4}$	-13.11	0
4	101.47	0.77	9.84	141.59

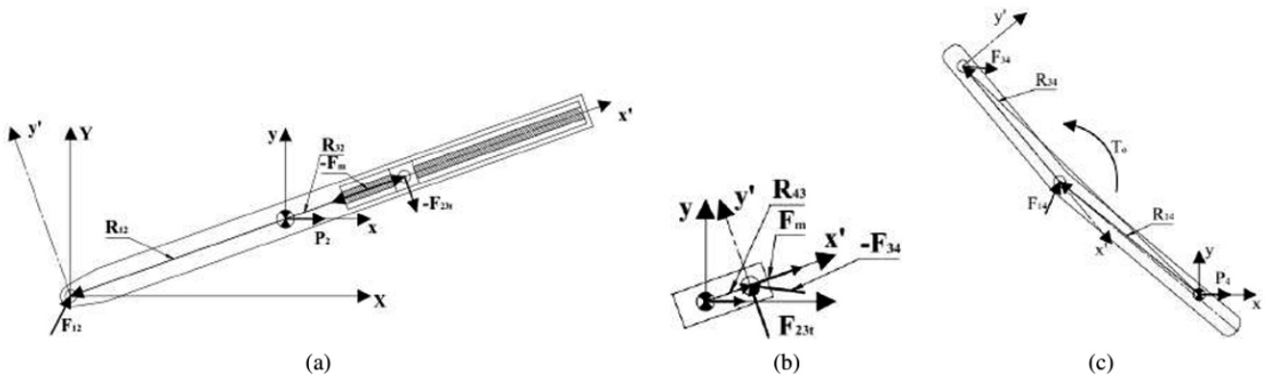


Figure 3: Free body diagrams of link 2 (a), 3 (b) and 4 (c).

to each link.

$$\begin{cases} A_{G2_x}(t) = -R_{12}.(\alpha_2(t).\sin(\theta_2(t))) + ((\omega_2(t))^2).\cos(\theta_2(t))) \\ A_{G2_y}(t) = R_{12}.(\alpha_2(t).\cos(\theta_2(t)) - ((\omega_2(t))^2).\sin(\theta_2(t))) \\ A_{G3_x}(t) = \begin{array}{l}[-(a+b(t)-R_{43}).(\alpha_2(t).\sin(\theta_2(t)) + ((\omega_2(t))^2).\cos(\theta_2(t)))- \\ -2.\dot{b}(t).\omega_2(t).\sin(\theta_2(t)) + \ddot{b}(t).\cos(\theta_2(t))]\end{array} \\ A_{G3_y}(t) = \begin{array}{l}[(a+b(t)-R_{43}).(\alpha_2(t).\cos(\theta_2(t)) - (\omega_2(t)^2).\sin(\theta_2(t)))+ \\ +2.\dot{b}(t).\omega_2(t).\cos(\theta_2(t)) + \ddot{b}(t).\sin(\theta_2(t))]\end{array} \\ A_{G4_x}(t) = -R_{14}.(\omega_4^2).\cos(\theta_4(t) - 168.93°) \\ A_{G4_y}(t) = -R_{14}.(\omega_4^2).\sin(\theta_4(t) - 168.93°) \end{cases} \quad (6)$$

Finalized the coordinate change of the accelerations, was utilized the Eq. 7 to find out the actuator dynamic forces and its output torque to compare with the estimated torque determined. The I_2 and I_3 variables were the inertia module of links 2 and 3 respectively. A Matlab® routine was used to solve the system of equations.

$$\begin{cases} F_{12_x} - F_{23t_x} = m_2.A_{G2_x}(t) - P_2 + Fm.\cos(\theta_2(t)) \\ F_{12_y} - F_{23t_y} = m_2.A_{G2_y}(t) + Fm.\sin(\theta_2(t)) \\ F_{23t_x} - F_{34_x} = m_3.A_{G3_x}(t) - P_3 + Fm.\cos(\theta_2(t)) \\ F_{23t_y} - F_{34_y} = m_3.A_{G3_y}(t) + Fm.\sin(\theta_2(t)) \\ F_{34_x} + F_{14_x} = m_4.A_{G4_x}(t) - P_4 \\ F_{34_x} + F_{14_x} = m_4.A_{G4_x}(t) \\ -F_{34_x}.R_{34_y} + F_{34_y}.R_{34_x} - F_{14_x}.R_{14_y} + F_{14_y}.R_{14_x} + T_o = 0 \\ F_{23t_x}.\cos(\theta_2(t)) + F_{23t_y}.\sin(\theta_2(t)) = 0 \\ \begin{array}{l}[-F_{12_x}.R_{12_y} + F_{12_y}.R_{12_y}+ \\ +F_{23t_x}.(R_{32_y} - R_{43_y}) + F_{23t_y}.(R_{43_x} - R_{32_x})+ \\ +F_{34_x}.R_{43_y} - F_{34_y}.R_{43_x}]\end{array} = (I_{G2} + I_{G3})\alpha_2(t) \end{cases} \quad (7)$$

2.3 Structural Analysis

After the dynamics analysis, a structural analysis was performed in the two major components of the system, the forearm rod and the arm structure, both made with aluminum alloy 1100 H14 with yield strength of 95 MPa and elongation of 5% (METALTHAGA, 2019). To this validation, a finite elements analysis was done with the Mechanical® module of Ansys®. The two studies followed these steps: virtual

modeling, mesh independence test, boundary conditions and post-processing of the results. All parts studied were firstly model in SolidWorks® and after exported to Ansys®. In the realization of the mesh independence test, was performed using three meshes, which in each simulation the number of nodes was duplicated. The boundary conditions of the both study were the critical load condition found with the Eq. 7.The simulations coordinate system was the same shown in the Fig. 3c. The material utilized was the aluminum 1100 H14. The simulations were performed in a computer using Microsoft Windows 10® operational system with 16 Gb of RAM memory and processor Intel® Core™ i7-4790.

To the forearm rod simulation, the load critical point was when the output torque value was 11.99 Nm. In that point, the interface forces between links 1 and 4 (F_{14}) and links 3 and 4 (F_{34}) were 186.49 N and 185.55 N, respectively. At the joint D location a cylindrical support, not presenting radial movement resistance, was defined. All the boundary conditions were shown in the Fig. 4. In order to validate the mesh was used a probe point defined in a chose face as shown in Fig. 4. That probe was defined to assess the maximum von Mises stress. To ensure that the mesh did not interfere in the results, the stress variation in the probe could not vary more than 5% among each mesh.

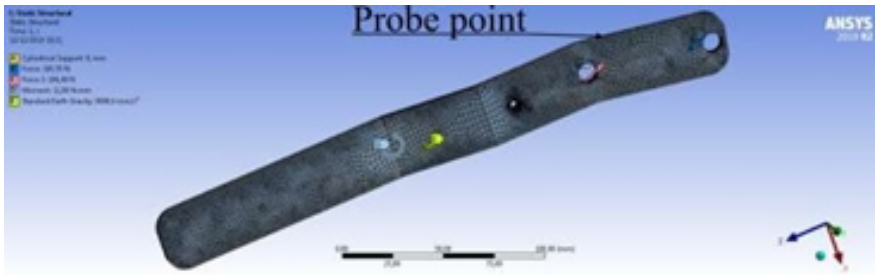


Figure 4: Mesh and boundary conditions of the forearm rod simulation.

The arm structure as a set of plates fixed by bolts, which to simplify the simulations, was omitted. The right side in the Fig. 5 was the link 1 of the mechanism actuator, what responsible to support the actuator loads. The load critic point was the maximum forces between links 1 and 4 (F_{14}), which was 186.55 N. By consequence in the load critic point, the interface force in the links 1 and 2 (F_{12}) which were 183.89 N. Besides, during the elbow flexion the post stroke user presents abnormal synergistic patterns, i.e, when tried the elbow flexion results in shoulder abduction and forearm pronation (Raghavan, 2015). This characteristic leads to a structural torsion of the arm structure. Although the magnitude of that force was unknown, but to predict the structural response to that a binary of forces, with 20 N in magnitude, was applied in the fastening of the joint D, and in its symmetry bolt. Only one support was used, and it was a fixed support applied in the center plate of the structure. All the boundary conditions as shown in the Fig. 5. In its mesh independence test was used a probe point defined in a chose face as shown in Fig. 5. That probe was also defined to assess the maximum von Mises stress. The mesh validation occurred when the stress variation in the probe did not vary more than 5% among each mesh.

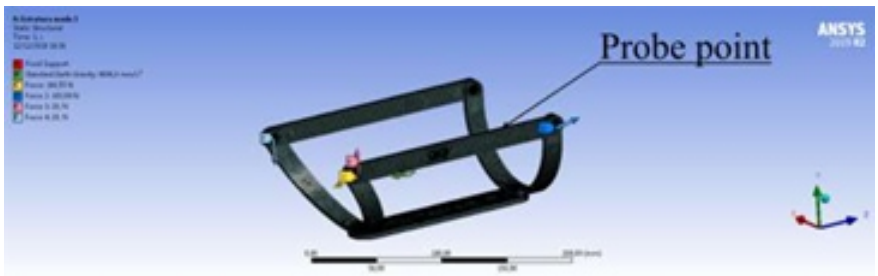


Figure 5: Mesh and boundary conditions of the arm structure simulation.

3. RESULTS

With the estimated torque to rotate the user's forearm using the Eq. 1 and the output dynamic torque calculated by the system of Eq. 7 was possible to compare the two plot as show in Fig 6. As could be seen, the output torque was bigger than the estimated all the time, presenting a maximum value of 12 Nm over a maximum estimated of 4.8 Nm. The higher torque is essentials to ensure the performance of the movement, but, in the way to do not harm the user, with the excessive torque, an electronic safety control was added. With this analysis, the mechanism was validated and could be used in clinical trials.

The device' structural safety was validated through the structural simulations performed. The Tab. 3 shows the mesh independence test. As could be observed, there was almost no variation in the stress measured in the probe point, validating the meshes utilized. The mesh 3 was chosen to the final simulations because of that was solved rapidly, and this component did not have a complex geometry.

Table 3: Mesh independence test to forearm rod simulation.

Mesh	Maximum von Mises stress [MPa]	Number of Nodes	Percentage Change
1	6.91	41,105	0%
2	6.93	81,240	0.30%
3	6.94	167,620	0.15%

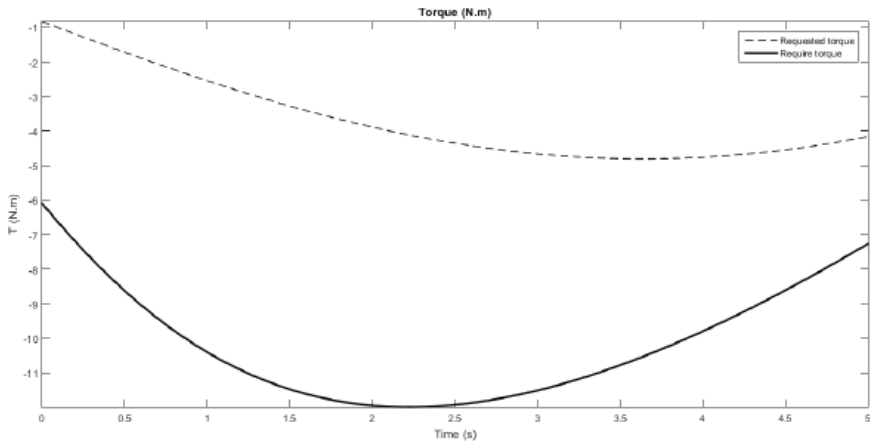


Figure 6: Comparison between the required torque and the torque provided by the actuator.

After the mesh was selected the simulation was solved and the response of the applied loads was presented in Fig. 7. The maximum stress found out was 24.98 MPa located in the joint D hole. The strain present in this point was 0.012%. Due to the low loads calculates, comparing with the material yield strength (95 MPa), with the safety factor of 3.8, the simulation demonstrated the safety of the actuator, ensure that the use in clinical trials do not harm the user.

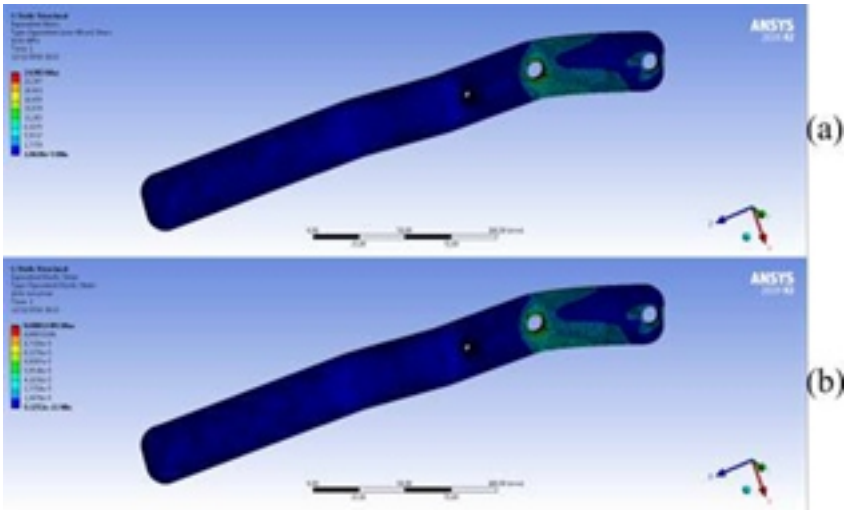


Figure 7: Von Mises stress (a) and strain(b) of the forearm rod.

The simulation results of the arm structure mesh independence test were shown in the Tab. 4. The meshes tested present low variation in the probe point stress value, that confirmed the quality of the mesh. Because of the low variation and the huge number of nodes presents in that simulation, mesh 2 was chosen due to its solve time and its accuracy.

Table 4: Mesh independence test to arm structure simulation.

Mesh	Maximum von Mises stress [MPa]	Number of Nodes	Percentage Change
1	11.96	135,684	0%
2	11.98	248,875	0.17%
3	12.14	503,801	1.34%

At last, the structural evaluation of the arm structure was performed and presented in Fig. 8. As shown, the maximum stress was 49.72 MPa and the maximum strain 0.082%, with a safety factor of 1.91. These values were located in the fastening holes present in the central plate. The left plate almost did not present loads. The low values of stress and strain show this component also safe to use in individuals. This presenting study validates the safety and capacity of the elbow module in rehabilitation users, then enable the next steps, which is to perform the clinical trials.

4. DISCUSSION

Several studies have been measured the active force done by an arm against a rigid surface. Van Harlinger *et al.* (2015) measured the strength of men and women in a large age range (between 20-64 years old) and found a mean value of 26.4 kg for men and 15.4 kg for women. However, there is a gap when the subject is the external force to passively perform flexion or extend the elbow. In other

words, there is no literature about the needed force to passively flexion or extend the elbow through an external input performed by equipment measured experimentally. It would be a future work, in order to validate the anthropometric calculus made in this study.

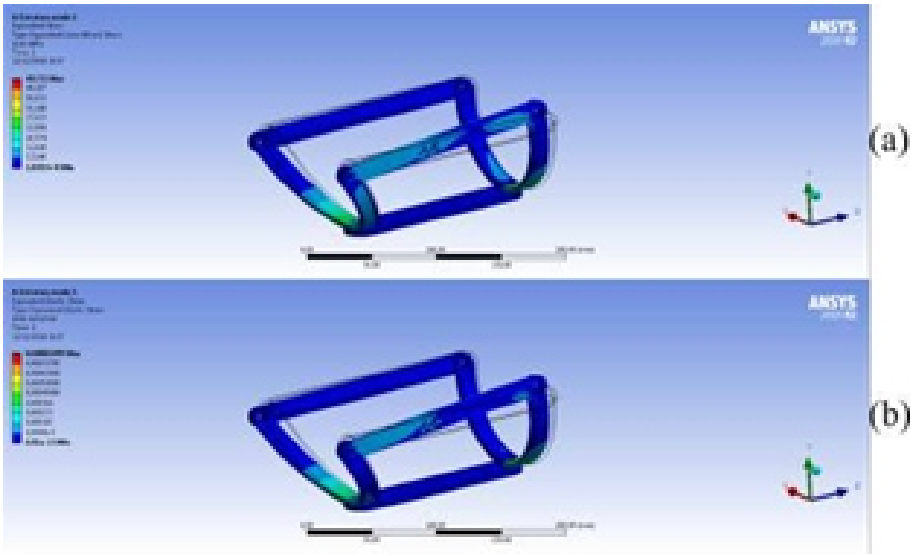


Figure 8: Von Mises stress (a) and strain(b) of the arm structure.

The position analysis of the elbow module in this study was made through Euler's Identity vector analysis. Another common approach to solve this issue is the Jacobian matrices as is shown by Mohammadi *et al.* (2016); Rahman *et al.* (2012). However, using Jacobian matrices can occur robot singularities. It means that the robot has redundant axes, and it results in intolerable torques or forces on the links, loss of stiffness or compliance, and breakdown of control algorithms. The analysis of kinematic singularities is, therefore, an essential step when this approach is used. Nevertheless, Chen *et al.* (2019) proposed a different approach through the POE (product of exponential) formula. The new gravity center (arm wearing the exoskeleton) is not calculated, but it is considered a new coordinate that represents the deviation of the motion center caused by the exoskeleton. The results found by him were similar to the others, validating the approach. Thus, Euler's Identity vector analysis is a powerful methodology once it avoids the problems that can be seen in the literature.

The study was developed considering the movement in two dimensions. It was possible because of the splints which guide the forearm movement. One of the main sequels of the stroke is spasticity, and individuals who have suffered a stroke can develop it. The stress caused by the spasticity was simulated through the binary of forces. Therefore, the splints used in the structure do not allow the unusual movement (wrist and finger flexion) caused by the predominance of hypertonia in the antigravity muscles, that is, the flexors. In a second analysis, a three-dimension analysis of motion would be done like proposed by Mendoza-Vazquez *et al.* (2007). It is relatively easy to compute, because the left part of the Euler Lagrange formulation was computed as if the orthesis were a one link three degree of freedom pendulum, in theory one of the easiest three-dimensional objects to model.

The structure of the elbow was mainly made of Aluminum 1100 H14. Thus, starting with a fixed material and es-timating the maximum torque by anthropometric and vectorial methodology, the module was subjected to a structural analysis at ANSYS software, whose results show no irregularities. Nevertheless, Koundal and Banwait (2019) studied the mechanical behavior of several materials using the same software. They considered 20 Nm as torque (higher than the 12 Nm anthropometric

estimates) and found the plastic ABS as the best material for this purpose. Therefore, the same methodology involving structural analysis should be applied in several materials. Thus, another material, even lighter than Aluminum, should be used in the elbow structure of the orthosis, which possibilities a new study in material optimization. In previous studies, it was detected involuntary forearm pronation caused by synergy and spasticity, a stroke se-quel (Ferreira *et al.*, 2020). There is no literature that calculates the maximum torque caused by this involuntary pronation, which evidenced the need of studies of these loads in order to use this in the structural optimization of these apparatus, because this effort was essential to be considered in the structural analysis. Due to this, in this study binary of forces on the structure of the elbow module, as shown in Fig. 5, was used to simulate the involuntary pronation torque, and know if the structure supported the efforts caused by this torsion.

Finally, according to this study, the elbow module validation is extremely necessary to help the development of robotic orthoses which are providing an improvement in post stroke rehabilitation. The structure weight and gravity center position need to approximate the real arm to not demand an uncommon effort by the mechanism. In addition, the splints limit the movement in two dimensions, avoiding the actuation of the spasticity. The structural analysis is crucial to evaluate the module's mechanical properties and conclude if the material supports the efforts it will be submitted. Ensuring the device would be able to perform the movements and the angles, it was needed a dynamic analysis. Through it can be calculated the maximum torque of the elbow module.

CONCLUSION

Through this study, it is evident the need for validation in robotic orthosis modules. The maximum torque generated was 12 Nm, greater than the estimated flexion of the elbow, which was approximately 4.8 Nm. In addition, the mechanism which uses a bars guided system with force and velocity input by a power screw performs the movements in a satisfactory way. The structural analysis is important to assure the material will resist the soliciting efforts caused by the module operation. Once the material yield stress is 95 MPa and considering the forearm pronation estimated in 20 N, the maximum von Mises stress found was about 50 MPa. It validates the Aluminum 1100 H14 used, and the simulations are able to validate the critical components of the elbow module. Therefore, it is possible to improve the coupling between the module spindle and the engine. Lastly, the elbow module can be used in rehabilitation protocols to confirm the developed device's ability in rehabilitating post stroke individuals.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Universidade Federal de Minas Gerais, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais and the Graduate Program in Mechanical Engineering for the support available to carry out this project. We also acknowledge our funders Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes): finance code 001 and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [203345/2019-3].



REFERENCES

Araújo, R.C.d., Junior, F.L., Rocha, D.N., Sono, T.S. and Pinotti, M., 2011. "Effects of Intensive Arm Training With an Electromechanical Orthosis in Chronic Stroke Patients: A Preliminary Study". Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 92, No. 11, pp. 1746–1753. ISSN 00039993. doi:10.1016/j.apmr.2011.05.021. URL https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999311003558.

Brokaw, E.B., Nichols, D., Holley, R.J. and Lum, P.S., 2014. "Robotic Therapy Provides a Stimulus for Upper Limb Motor Recovery After Stroke That Is Complementary to and Distinct From Conventional Therapy". Neurorehabil-itation and Neural Repair, Vol. 28, No. 4, pp. 367–376. ISSN 1545-9683. doi:10.1177/1545968313510974. URL http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1545968313510974.

Chen, W., Li, Z., Cui, X., Zhang, J. and Bai, S., 2019. "Mechanical Design and Kinematic Modeling of a Cable-Driven Arm Exoskeleton Incorporating Inaccurate Human Limb Anthropomorphic Parameters". Sensors, Vol. 19, No. 20, p. 4461. ISSN 1424-8220. doi:10.3390/s19204461. URL https://www.mdpi.com/1424-8220/19/20/4461.

Ferreira, F.M.R.M., Rúbio, G., de Avellar, N., Tonelli, L., Brandão, F.H., da Mata, A., Bonfim, J.P., Silva, T., Dutra, R.M., Van Petten, A.M. and Vimieiro, C., 2020. "ROBOTIC ORTHOSIS FOR UPPER LIMB RE-

HABILITATION". In Proceedings of 1st International Electronic Conference on Actuator Technology: Ma-terials, Devices and Applications. MDPI, Basel, Switzerland, p. 8519. doi:10.3390/IeCAT2020-08519. URL http://sciforum.net/conference/IeCAT2020/paper/8519.

Hayward, K.S. and Brauer, S.G., 2015. "Dose of arm activity training during acute and subacute rehabilitation post stroke: a systematic review of the literature". Clinical Rehabilitation, Vol. 29, No. 12, pp. 1234–1243. ISSN 0269-2155. doi: 10.1177/0269215514565395. URL http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269215514565395.

Koundal, N. and Banwait, S.S., 2019. "Finite Element Analysis of Different Fused Deposit Materials Utilised in Fabrication of Elbow Orthosis". International Journal of Innovative Technology and Exploring Engi-neering, Vol. 8, No. 12, pp. 4847–4850. ISSN 2278-3075. doi:10.35940/ijitee.L3713.1081219. URL https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v8i12/L37131081219.pdf.

Langhorne, P. and Legg, L., 2003. “Evidence behind stroke rehabilitation”. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, Vol. 74, No. 90004, pp. 18iv–21. ISSN 0022-3050. doi:10.1136/jnnp.74.suppl_4.iv18. URL http://jnnp.bmj.com/cgi/doi/10.1136/jnnp.74.suppl_4.iv18.

Langhorne, P., Bernhardt, J. and Kwakkel, G., 2011. “Stroke rehabilitation”. The Lancet, Vol. 377, No. 9778, pp. 1693–1702. ISSN 01406736. doi:10.1016/S0140-6736(11)60325-5. URL https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673611603255.

MacLeod, D., 2013. THE RULES OF WORK: A Practical Engineering Guide to Ergonomics. CRC Press, Boca Raton, 2nd edition. ISBN 978-1-4665-6025-3.

Mendoza-Vazquez, R., Escudero-Uribe, A.Z. and Fernandez-Mulia, R., 2007. “Simplified Analytical Dynamic Model for a Parallel Prosthetic Elbow”. In 2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, pp. 3031–3034. ISBN 978-1-4244-0787-3. ISSN 1557-170X. doi: 10.1109/IEMBS.2007.4352967. URL http://ieeexplore.ieee.org/document/4352967/.

METALTHAGA, 2019. “Tabela Técnica: Propriedades Mecânicas Ligas de Alumínio Laminadas”. URL https://metalthaga.com.br/wp-content/uploads/2017/ 12/5-Propriedades-Mecanicas-Ligas-de-Aluminio-Laminadas.pdf.

Mohammadi, E., Zohoor, H. and Khadem, S., 2016. “Design and prototype of an active assistive exoskeletal robot for rehabilitation of elbow and wrist”. Scientia Iranica, Vol. 23, No. 3, pp. 998–1005. ISSN 2345-3605. doi: 10.24200/sci.2016.3868. URL http://scientiairanica.sharif.edu/article_3868.html.

Neumann, D.A., 2011. CINESIOLOGIA DO APARELHO MUSCULOESQUELÉTICO. Elsevier, Rio de Janeiro, 2nd edition. ISBN 978-85-352-3966-9.

O'Donnell, M.J., Chin, S.L., Rangarajan, S., Xavier, D., Liu, L., Zhang, H., Rao-Melacini, P., Zhang, X., Pais, P., Agapay, S., Lopez-Jaramillo, P., Damasceno, A., Langhorne, P., McQueen, M.J., Rosengren, A., Dehghan, M., Hankey, G.J., Dans, A.L., Elsayed, A., Avezum, A., Mondo, C., Diener, H.C., Ryglewicz, D., Czlonkowska, A., Pogosova, N., Weimar, C., Iqbal, R., Diaz, R., Yusoff, K., Yusufali, A., Oguz, A., Wang, X., Penaherrera, E., Lanas, F., Ogah, O.S., Ogunniyi, A., Iversen, H.K., Malaga, G., Rumboldt, Z., Oveisgharan, S., Al Hussain, F., Magazi, D., Nilanont, Y., Ferguson, J., Pare, G. and Yusuf, S., 2016. “Global and regional effects of poten-tially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study”. The Lancet, Vol. 388, No. 10046, pp. 761–775. ISSN 01406736. doi:10.1016/S0140-6736(16)30506-2. URL https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673616305062.

Page, S.J., Hill, V. and White, S., 2013. “Portable upper extremity robotics is as efficacious as upper extremity rehabilitative therapy: a randomized controlled pilot trial”. Clinical Rehabilita-tion, Vol. 27, No. 6, pp. 494–503. ISSN 0269-2155. doi:10.1177/0269215512464795. URL ttp://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0269215512464795.

Raffin, E. and Hummel, F.C., 2018. “Restoring Motor Functions After Stroke: Multiple Approaches and Opportuni-ties”. The Neuroscientist, Vol. 24, No. 4, pp. 400–416. ISSN 1073-8584. doi:10.1177/1073858417737486. URL http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1073858417737486.



Raghavan, P., 2015. "Upper Limb Motor Impairment After Stroke". Physical Medicine and Rehabilitation Clin-ics of North America, Vol. 26, No. 4, pp. 599–610. ISSN 10479651. doi:10.1016/j.pmr.2015.06.008. URL https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1047965115000558.

Rahman, M.H., Saad, M., Kenné, J.P., Archambault, P.S. and Ouimet, T.K., 2012. "Development of a 4DoFs exoskeleton robot for passive arm movement assistance". International Journal of Mechatron-ics and Automation, Vol. 2, No. 1, p. 34. ISSN 2045-1059. doi:10.1504/IJMA.2012.046587. URL http://www.inderscience.com/link.php?id=46587.

Reinkensmeyer, D.J., Wolbrecht, E.T., Chan, V., Chou, C., Cramer, S.C. and Bobrow, J.E., 2012. "Comparison of Three-Dimensional, Assist-as-Needed Robotic Arm/Hand Movement Training Provided with Pneu-WREX to Conventional Tabletop Therapy After Chronic Stroke". American Journal of Physical Medicine & Reha-bilitation, Vol. 91, No. 11, pp. S232–S241. ISSN 0894-9115. doi:10.1097/PHM.0b013e31826bce79. URL https://journals.lww.com/00002060-201211003-00004.

Ricotta, V., Campbell, R.I., Ingrassia, T. and Nigrelli, V., 2020. "A new design approach for customised med-ical devices realized by additive manufacturing". International Journal on Interactive Design and Manufac-turing (IJIDeM), Vol. 14, No. 4, pp. 1171–1178. ISSN 1955-2513. doi:10.1007/s12008-020-00705-5. URL http://link.springer.com/10.1007/s12008-020-00705-5.

Rúbio, G.d.P., Ferreira, F.M.R.M., Brandão, F.H.d.L., Machado, V.F., Tonelli, L., Kozan, R.F., Santos, C.B. and Vimieiro, 2019. "Design of Actuators Applied to a Upper Limb Orthosis". In Proceedings of the 25th International Congress of Mechanical Engineering. ABCM, Uberlândia, MG, Brasil. doi:10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-0553. URL http://www.sistema.abcm.org.br/articleFiles/download/25287.

Rúbio, G.d.P., Martins Ferreira, F.M.R., Brandão, F.H.d.L., Machado, V.F., Tonelli, L.G., Martins, J.S.R., Kozan, R.F. and Vimieiro, C.B.S., 2020. "Evaluation of Commercial Ropes Applied as Artificial Tendons in Robotic Rehabil-itation Orthoses". Applied Sciences, Vol. 10, No. 3, p. 920. ISSN 2076-3417. doi:10.3390/app10030920. URL https://www.mdpi.com/2076-3417/10/3/920.

Stewart, C., McCluskey, A., Ada, L. and Kuys, S., 2017. "Structure and feasibility of extra practice during stroke rehabilitation: A systematic scoping review". Australian Occupational Therapy Journal, Vol. 64, No. 3, pp. 204–217. ISSN 00450766. doi:10.1111/1440-1630.12351. URL http://doi.wiley.com/10.1111/1440-1630.12351.

Valevicius, A.M., Boser, Q.A., Lavoie, E.B., Chapman, C.S., Pilarski, P.M., Hebert, J.S. and Vette, A.H., 2019. "Characterization of normative angular joint kinematics during two functional upper limb tasks". Gait & Posture, Vol. 69, pp. 176–186. ISSN 09666362. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.01.037. URL https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636218311779.

Van Harlinger, W., Blalock, L. and Merritt, J.L., 2015. "Upper Limb Strength: Study Providing Normative Data for a Clin-ical Handheld Dynamometer". PM&R, Vol. 7, No. 2, pp. 135–140. ISSN 19341482. doi:10.1016/j.pmrj.2014.09.007. URL http://doi.wiley.com/10.1016/j.pmrj.2014.09.007.

Winter, D.A., 2009. BIOMECHANICS AND MOTOR CONTROL OF HUMAN MOVEMENT. John Wiley & Sons, Inc, Waterloo, 4th edition. ISBN 978-0-470-39818-0.

World Health Organization, 2012. “Stroke, cerebrovascular accident.” World Health Organization. 27 Set. 2017. URL http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are solely responsible for the printed material included in this paper.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_4

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THE MECHANICAL STRUCTURE OF AN HYBRID ORTHOSIS

Francielle Aparecida da Paz
Universidade Federal de Minas Gerais
franciellepaz@ufmg.br

Arthur Torres Caetano
Universidade Federal de Minas Gerais
arthurtcaetano@ufmg.br

Matheus Carvalho Barbosa Costa
Universidade Federal de Minas Gerais
mt94_carvalho@hotmail.com

João Paulo Fernandes Bonfim
Universidade Federal de Minas Gerais
jpfb2015@ufmg.br

Guilherme de Paula Rúbio
Universidade Federal de Minas Gerais
guilhermerubio@ufmg.br

Fernanda Marcia Rodrigues Martins Ferreira
Universidade Federal de Minas Gerais
fernandaferreira.to@gmail.com

Lucas Oliveira da Fonseca
Universidade Federal de Minas Gerais
lucas.fonseca@inria.fr

Henrique Resende Martins
Universidade Federal de Minas Gerais
henriquerm@gmail.com

Claysson Bruno Santos Vimieiro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
claysson@pucminas.br

ABSTRACT

The most common sequelae caused by stroke are motor limitations in the upper limbs, which hinder the affected individual from performing daily activities independently. To alleviate these consequences, a hybrid orthosis that combines mechanical structures and Functional Electrical Stimulation (FES) can be used in the rehabilitation of these individuals. This study aims to evaluate structurally the orthosis using Finite Element Analysis based on biomechanical data. The torque curve at the elbow joint was obtained using OpenSim software, simulating the flexion movement of the arm with an additional 1 kg mass on the hand. A maximum torque of 7 Nm occurring at 90º was obtained, and this value was used in the simulated model in Ansys Mechanical. The maximum resulting stress was observed in the screw receiving the impact of the movement with a value of 120.38 MPa and the corresponding strain of 0.36%. With this geometry, it was obtained a functional and safe orthosis for the users.

Keywords:
Hybrid orthosis, Biomechanics, Functional Electrical Stimulation, Finite Element Analysis, OpenSim.

RESUMO

As sequelas mais comuns causadas por um AVC são as limitações motoras nos membros superiores, que impedem o indivíduo afetado de realizar atividades diárias de forma independente. Para atenuar essas consequências, uma órtese híbrida que combina estruturas mecânicas e Estimulação Elétrica Funcional (FES) pode ser utilizada na reabilitação desses indivíduos. Este estudo visa avaliar estruturalmente a órtese utilizando Análise de Elementos Finitos baseada em dados biomecânicos. A curva de torque na articulação do cotovelo foi obtida utilizando o software OpenSim, simulando o movimento de flexão do braço com uma massa adicional de 1 kg na mão. Um torque máximo de 7 Nm, ocorrendo a 90º, foi obtido e esse valor foi utilizado no modelo simulado no Ansys Mechanical. A tensão máxima resultante foi observada no parafuso que recebe o impacto do movimento, com um valor de 120,38 MPa e a deformação correspondente de 0,36%. Com essa geometria, obteve-se uma órtese funcional e segura para os usuários.

Palavras-chave:
Órtese híbrida, Biomecânica, Estimulação elétrica funcional, Análise de elementos finitos, OpenSim.

INTRODUCTION

According to the World Health Organization (WHO, 2021), stroke is the second most common cause of death worldwide, resulting in chronic disabilities in over 50% of survivors due to brain tissue damage (Donkor, 2018). Among individuals with stroke sequelae, there is a significant group that has upper limb movement limitations, which affects their ability to perform simple daily activities (Lawrence et al., 2001). In this context, robotic rehabilitations have been developed as alternatives to assist in the recovery of these individuals, enabling them to regain independence in performing daily activities. This type of therapy allows for greater individualization of treatment than conventional approaches, as it allows for better control over the number and intensity of repetitions performed, thereby increasing the effectiveness of rehabilitation (Ferreira et al., 2022).

In robotic rehabilitation applications, active orthoses with mechanical actuators to generate limb movement or semi-active orthoses that modify the mechanical characteristics of the orthosis without directly exerting mechanical work on the limb are commonly used (Ministério da Saúde, 2019).

In orthosis design for rehabilitation after stroke, the reduction of mass and volume is always desired due to the skeletal and muscular conditions of the user. Therefore, the parts of the device are manufactured using low-density materials with high mechanical strength, such as aluminum alloys and polymers. The parts are designed to be anatomically attached to the user's limbs. In the literature, various models of orthoses for robotic rehabilitation have been reported (Rubio et al., 2019; Rubio et al., 2021; Lavrenko and Lebedysnskyi , 2022). Among these, Rubio et al. (2021) developed a prototype orthosis using low-density materials with good mechanical strength. They also employed a robotic system with electric motors to rotate the user's elbow and a hand module with finger activation, using steel cables connected to electric motors. Based on this orthosis model, a hybrid structure was designed, in which the passive robotic system consisting of electric motors was replaced with Functional Electrical Stimulation (FES), aiming to reduce the orthosis mass through muscle activation.

An important step in the development of this hybrid orthosis is structural calculations, and it is necessary to estimate the forces exerted by the user's muscles, activated by FES, on this device. Variations in muscle mobility among orthosis users add complexity to the structural calculation. Thus, ensuring structural integrity, along with appropriate mobility and safety for users during clinical treatment, is essential for the success of rehabilitation. Therefore, the objective of this study was to validate the design of the new hybrid orthosis for upper limbs using Finite Element Analysis (FEA) to simulate and propose improvements in the mechanical structure based on biomechanical data collected via simulation in the OpenSim software.

2. METHODOLOGY

To validate the structure of the hybrid orthosis, several steps were necessary, starting with the 3D modeling of the orthosis using Computer-Aided Design (CAD) software. The biomechanical data of elbow flexion were obtained using OpenSim software, and the static calculation of the orthosis structure was performed using Ansys Mechanical software for structural analysis. In this section, will be presented the mathematical model, biomechanical simulations, and boundary conditions applied in the structural calculation.

2.1 Hybrid orthosis design

The orthosis was designed to be secured to the user's forearm and arm using a rigid Polyvinyl Chloride (PVC) mold wrapped in an Ethylene Vinyl Acetate (EVA) cover. In the arm, this mold is directly screwed onto the structure of a rod of the orthosis, while in the forearm, this structure is screwed onto two pieces 3D printed in Polylactic Acid (PLA), which are allocated as a sliding joint on the forearm rods. To allow elbow flexion, the orthosis was designed with a rotational joint that will be positioned on the same axis of rotation of the elbow joint for each user. As muscle-tendon flexibility influences the ability of elbow flexion and extension, which varies for each individual, the orthosis was designed with an angular adjustment system that allows for quick modifications for each user, enabling personal adjustments with a wide angular range - 20º to 180º - respectively for flexed and fully extended elbow positions.

The materials will be applied according to the stress in each component. The rods will be made of T6006 aluminum alloy. The rotation limiter applied to the elbow and the transverse limiter for the forearm will be manufactured from PLA thermoplastic. The orthosis, developed using SolidWorks® software, is presented in Figure 1.

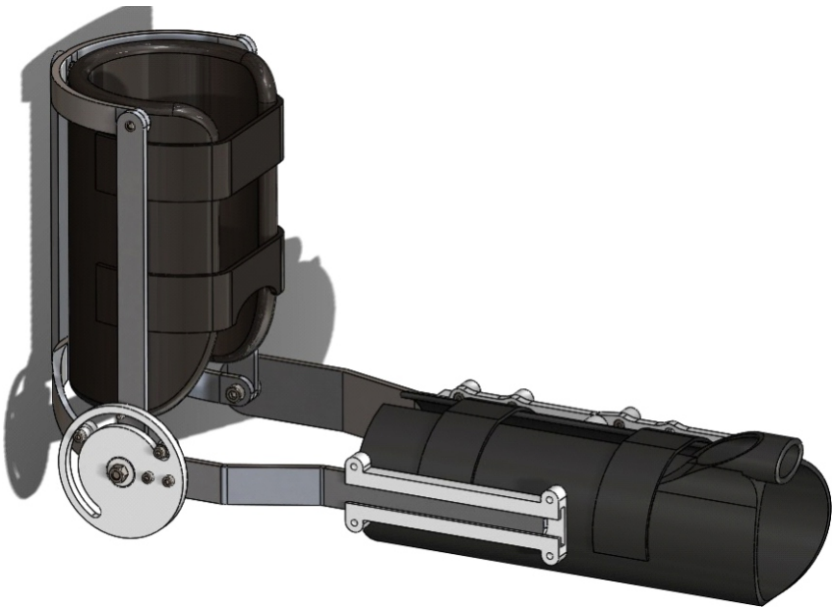


Figure 1. 3D model of the orthosis device.

2.2 Acting torque during elbow flexion

As this model will be activated via FES (Ferreira, 2022), which will contract the elbow flexor muscles, determining the forces acting on the orthosis structure becomes a complex task, as the muscular force-generating capacity varies greatly among individuals, and the muscle mass of individuals has significant variability. The values of mass and geometry parameters for the upper limbs were extracted from the study conducted by Rubio et al. (2021), with the forearm having a mass of 1.376 kg and a length of 0.264 m, the hand having a mass of 0.516 kg and a length of 0.196 m, based on proportions for an adult male with a height of 1.83 m and a weight of 85 kg. This estimate is above the expected average for a Brazilian man between 35 and 44 years old, which is the age group with the highest average weight, with an average height of 1.71 m and 74.6 kg (IBGE, 2009).

The torque values were calculated using the open-source software OpenSim, which simulates movements based on concepts from biology, neuroscience, mechanics, and robotics (Seth, 2018). The chosen model to simulate the arm flexion movement was the Arm26, which is available for open-source download on the OpenSim platform. This model is a simplification of arm anatomy using rigid bodies, bones, and six muscles, including the long head, lateral head, and medial head of the triceps, the long and short heads of the biceps, and the brachialis, which are the most involved muscles in arm flexion. The simulation is capable of mathematically reproducing dynamic activation, force-length and force-velocity relationships, and muscle-tendon dynamics (Seth, 2018).

One of OpenSim's tools used to solve the mathematical models is inverse dynamics, which, based on known kinematics, can determine the forces and torques at each joint responsible for a given movement. This result is obtained by solving the classical equation of motion Eq. (1), where q, q', and q'' are vectors representing position, velocity, and acceleration, respectively, M(q) is the mass matrix, C(q, q') is the vector of Coriolis and centrifugal forces, G(q) is the vector of gravitational forces, and τ is the generalized force vector (Opensim, 2023).

$$M(q)q'' + C(q,q') + G(q) = \tau \quad (1)$$

In the software environment, to find the torque curve of elbow flexion, the Inverse Dynamic tool was used with the 3D model of the upper limb with the previously described geometry and mass data, with a displacement of 29° per second, totaling 5 seconds within a range of 0 to 145°, corresponding to a full arm flexion. This process is schematically illustrated in Figure 2. During elbow flexion, the hand and fingers remained static in the anatomical position. The simulation was performed with and without the additional 1 kg mass attached to the hand, as shown in Figure 3. Finally, to validate the simulation performed in OpenSim software, the results obtained for elbow flexion without additional mass on the hand were compared with the mathematical model described in Eq. (2) found in the literature (Rubio, 2021).

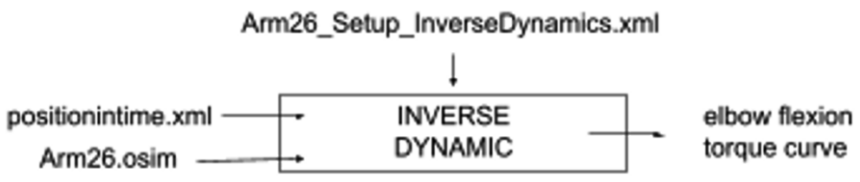


Figure 2. OpenSim diagram for Inverse Dynamics of the elbow.

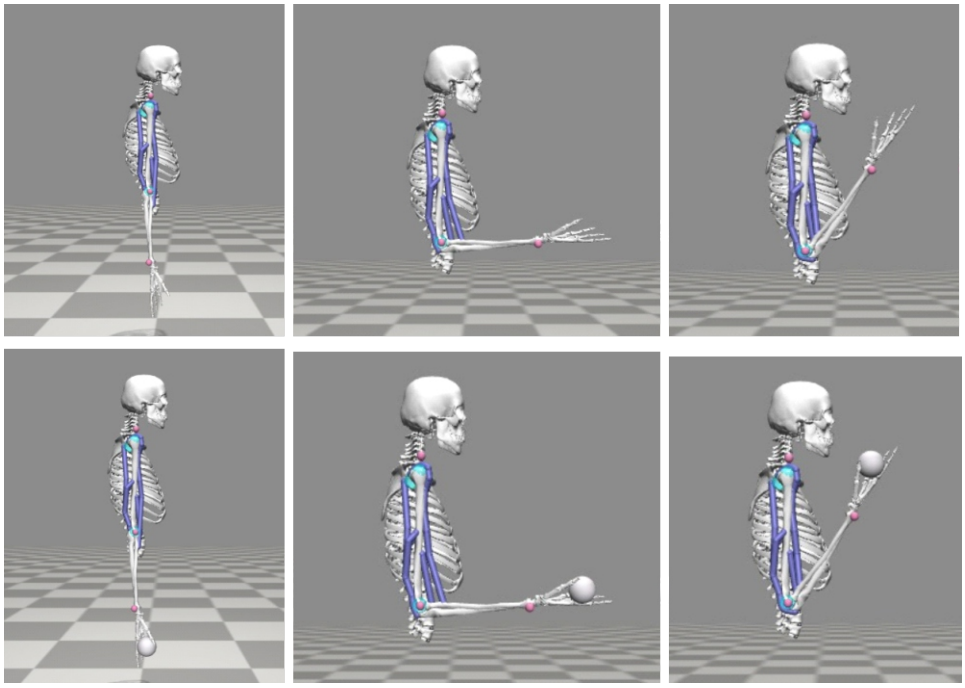


Figure 3. Muskuloskeletal OpenSIM upper limb model.

$$T_0 = P.R_g.sin(\Theta_0 + w.\Delta t) \quad (2)$$

2.3 FEA Simulation

To seek simplifications of the finite element analysis model, two structural analyses were performed using the Ansys Mechanical software, one to analyze the mechanical structure of aluminum components acting together and another to validate the PLA-made limiter. The simulations were conducted on a computer running the Microsoft Windows 10 operating system, with 32 GB of RAM, Intel® Core™ i5-12500 H processor, and Nvidia® RTX 3050™ graphics card.

2.3.1 Model and materials

In both simulations described afterwards, the model shown in Figure 4a was used. The considered mechanical properties of the applied materials are shown in Table 1, the application of the materials to each component is presented in the Figures 4b and 4c. For the PLA was assumed isotropic behavior for simulation simplification.

Table 1.Mechanical properties of the applied materials on the simulation.

Components	Material	Yield Strength (MPa)	Maximum elongation (%)
Orthosis mechanical structure (1)	Aluminum alloy 1100H4	95	5
Screws (2)	Steel 30MnVS6	800	14
Limiter and bushings (3)	PLA	54,1	1,568

(1)Methalgata (2019), (2)Ovako (2023), (3)Ansys (2023).

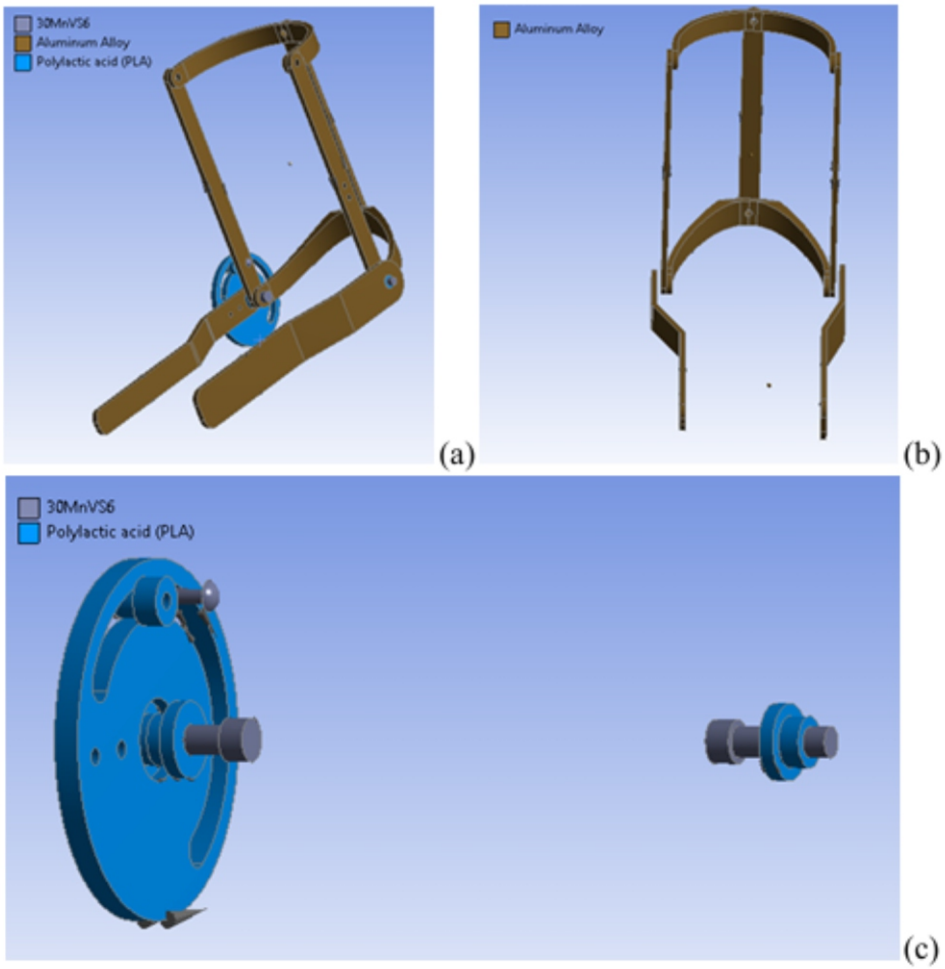


Figura 4. Materials applied on the orthosis structure for FEA: (a) Full model (b) Aluminum parts (c) Parts in 30MnVS6 steel and PLA.

2.3.2 Analysis of the aluminum mechanical structure

For structural analysis, the orthosis was positioned where the highest loading occurs during the elbow flexion movement, as determined by the simulation in OpenSim software. The masses of the forearm and the hand holding a 1 kg object were imposed on the bars that support the user's forearm, resulting in a distributed load of 2.8 kg on their inner surfaces. The maximum torque acting on the elbow was converted into a force of 31N and applied to the most extreme vertical surfaces - at a distance of 0.225 m from the orthosis joint - shown in Figure 4(a), with a direction of application consistent with the torque during elbow flexion movement. The central bar of the upper portion of the orthosis, where the user's arm is supported, was considered as a rigid element and fixed, and all the contacts among the structure components were considered as bonded. The simulation also considered the effect of gravity with a value of 9.8066 m/s². The remaining boundary conditions are presented in Figure 5a, where A represents gravity, B represents the 31N force, C represents the fixed bar and D represents the distributed mass. The mesh of the model uses deformable linear elements consisting of 63,434 elements and 118,627 nodes, the vertical bars have quadrilateral elements and the others have hexahedron elements, as shown in Figure 5b.

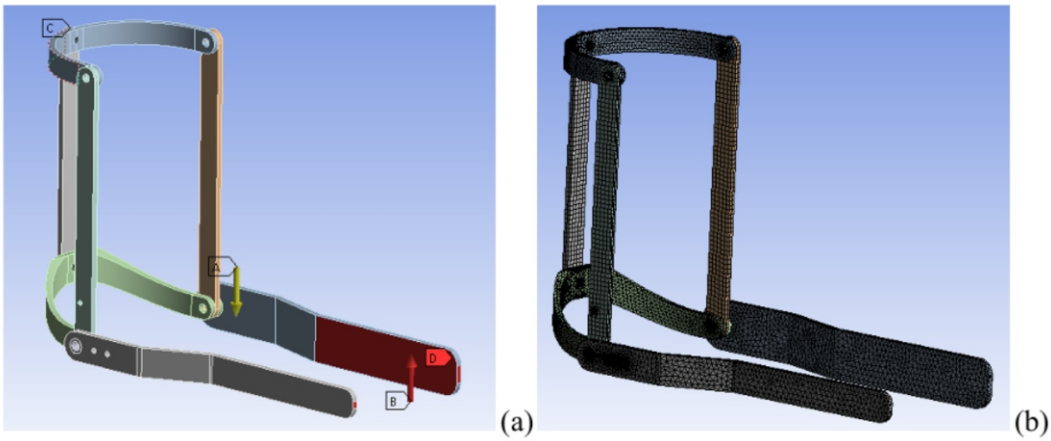


Figura 5. FEA in the orthosis aluminum structure: (a) Boundary conditions, and (b) meshed model.

2.3.3 Analysis of the PLA limiter

The same boundary conditions used in the model without the limiter were adopted. However, for the bushings, screws, and nuts belonging to the rotational joint of the orthosis, a connection that allows rotation between these mechanisms was used, enabling the rotation of the connected bars. The pin and disk were modeled as bonded contact, since the disk is attached to the bars by screws, causing them to move together. To ensure the limiter operation, the pin must be fixed to the disc in a position that stops the movement when the elbow reaches 90 degrees. The limiter was adjusted to lock the elbow flexion movement at the position of maximum torque, to verify if the component could withstand the loading, as shown in Figure 6a.

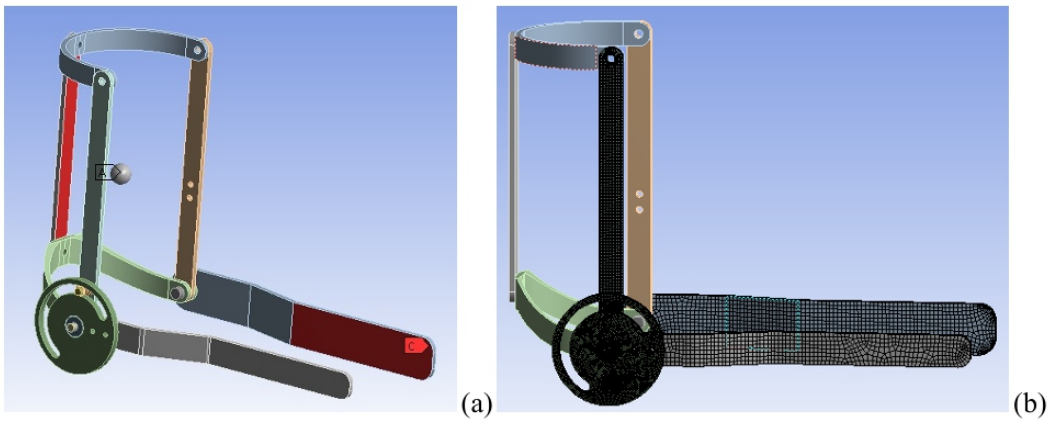


Figure 6. FEA to validate the PLA limiter: (a) Boundary conditions, and (b) meshed model.

The model was simplified, considering only the forearm bars, the screws in the rotational joint allowing elbow articulation, and the angular motion limiter, as the aluminum structure had already been validated. Therefore, the arm bars were considered rigid bodies, except for the bars connecting to the limiter. The mesh of the model was generated using deformable linear elements, consisting of 115,609 elements and 289,226 nodes, the elements in the bars and in the limiter are quadrilaterals and in the other components they are hexahedrons, as shown in Figure 6(b).

3. RESULTS AND DISCUSSION

It is possible to observe in Figure 1 that the hybrid orthosis with FES activation provides a large reduction - with a calculated mass of 1.1 kg - when compared to devices with electric motor actuation (Rubio et al., 2021). The torque curves in Figure 7 show the relationship between the elbow torque and the elbow flexion angle, with some positions illustrated in Figures 7a and 7c. The graph shows the expected behavior by Eq. (2), and also the minimum torques occur when the elbow is fully extended. On the other hand, the maximum torques of 4.62 Nm, without added mass to the hand, and 7 Nm, with added mass of 1kg to the hand, both occur at a 90º angle, that is, when the forearm is perpendicular to the arm, Figure 7b and 7d respectively. The maximum torque value without mass addition is in agreement with a previou study (Rubio, 2021) which obtained a maximum torque of 4.8 Nm, in comparison, this study presents a difference of 3.75% from the data existing in literature, that was calculated using the mathematical model described in Eq. (2).

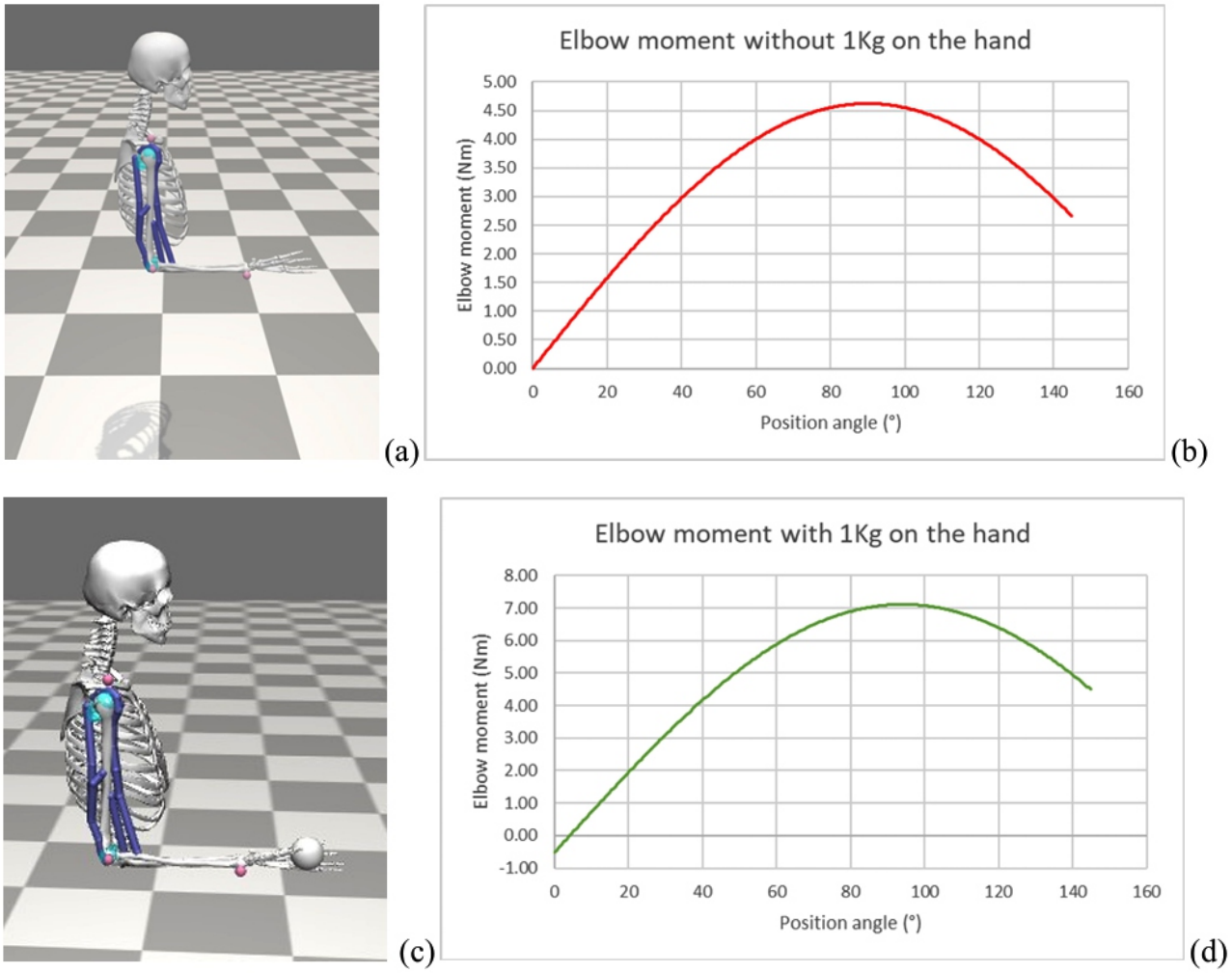


Figure 7. OpenSim simulations with the respective torque curve:
(a) Elbow flexion without added mass (b) Torque (c) Elbow flexion with added mass (d) Torque x Angle.

The static simulations of the orthosis structure were performed by applying a load of 31 N, equivalent to the maximum torque of 7 Nm obtained in OpenSim software, at the end of the rods - 0.225 m from the orthosis joints - that orthosis joint that supports the forearm. In addition, the weight of the limbs

was inserted as described in Section 2.2. Figure 8a shows that the maximum von Mises stress for the defined boundary conditions is 22.64 MPa and occurs in the contact region between the upper curved rod and the vertical rod, and the minimum stress is 0.05 Pa, and occurs on the fixed bar, however on the lateral surface, Figure 8a. The maximum equivalent elastic deformation is 0.19% and occurs in the left bushing between the horizontal and vertical rods, while the minimum of approximately 0% occurs on the fixed surface, Figure 8b.

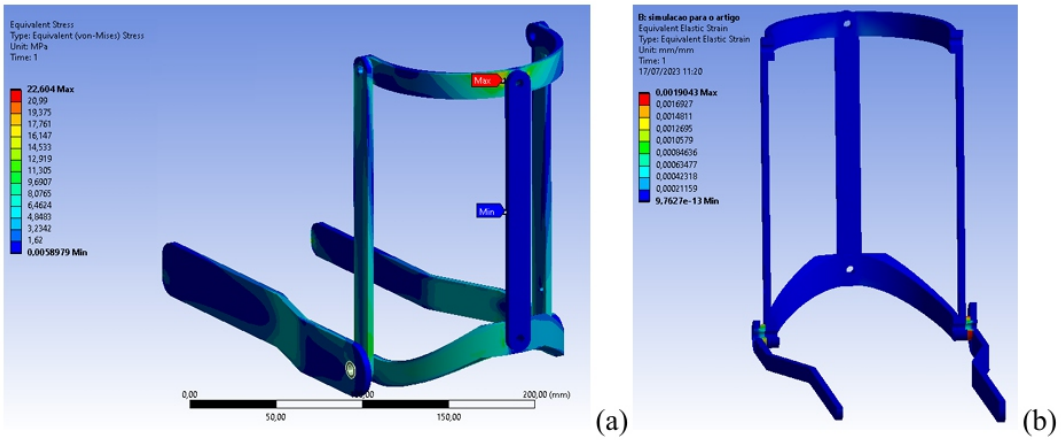


Figure 8. Metal structure simulation results:
(a) von Mises stress distribution (b) Distribution of equivalent elastic strain

The previous results justify the possibility of simplifying the simulation model of the PLA limiter by considering the arm bars as rigid bodies since the maximum calculated stress, 22.604 MPa, is much lower than the yield strength of the aluminum and there is no significant elastic deformation in this region. The maximum equivalent elastic deformation in the structure is about 0,2% and it occurs in the PLA bushing, since this material has low mechanical strength, which is 1.368%, below the material's limit of 1.568% , and the maximum von Mises stress in these elements is 8.94 MPa, below the yield strength of PLA, at 45.16 MPa. Both deformation and maximum stress occur in the left bushing, as the center of mass of the orthosis is displaced to the left due to the left horizontal bar being larger and consequently heavier than the right one, and the total weight of the forearm and the mass of the object is applied to this center of mass, leading to a tendency of stress and deformation accumulation on this side. Considering both materials present in this model, it has a safety factor of 5.

FEA was also performed with the elbow flexion limitation system, and these parts were modeled considering the use of PLA. Thus, the limiter was added and set to limit the elbow flexion to 90° - the angle of greatest loading - due to the low stress observed in the previous structural analysis. The bars that compose the portion attached to the user's arm were modeled as rigid bodies, except for the vertical bar connected to the limiting mechanism, as shown in Figure 9a. The simulation revealed maximum stress at the contact point between the screw, fixed to the vertical bar of the orthosis that limits joint rotation, and the movable pin of the limiter. This region had von Mises stress values of 120.38 MPa in the screw and 11.83 MPa in the pin, as shown in Figure 9b. Both maximum stress values are below the yield strength for the 30MnVS6 steel used in the screw and the PLA material used in the limiter elements. The estimated safety coefficient for the limiter mechanism is 4.58, and for the limiting screw, it is 6.64.

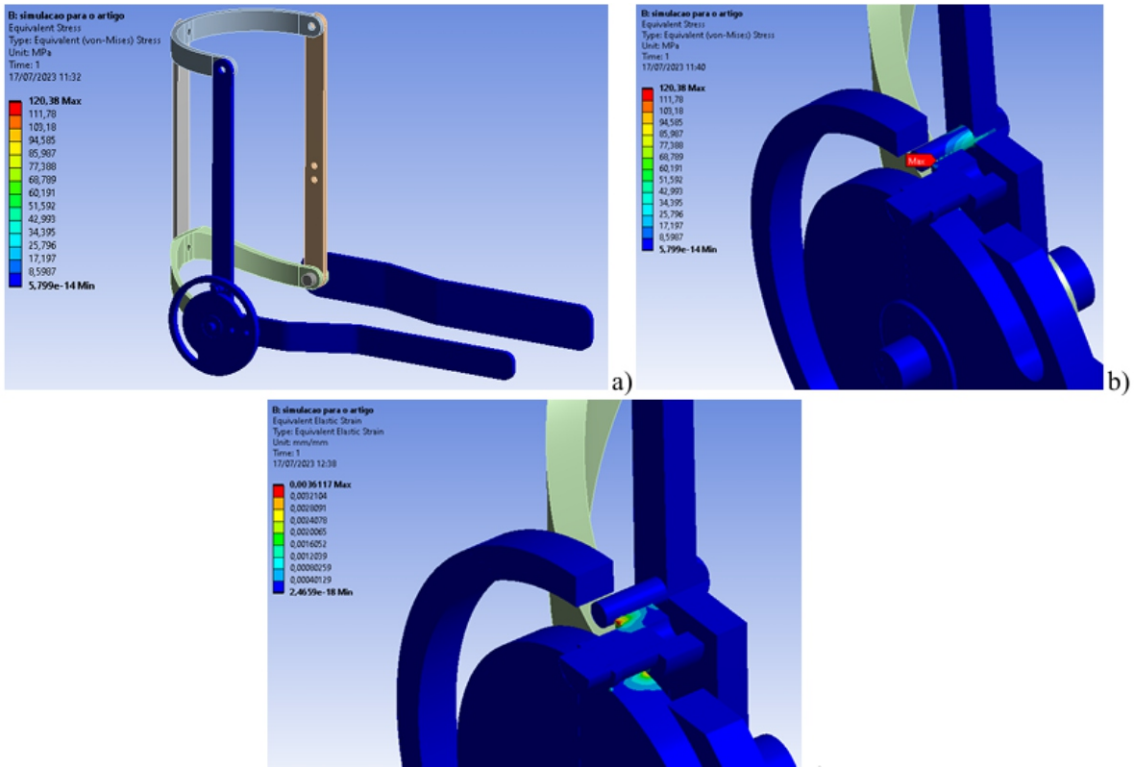


Figure 9. Results of the angular limiter simulation:
(a) Distribution of von Mises stress on the structure of the orthosis (b) Distribution of von Mises stress on the angle limiter (c) Distribution of equivalent elastic strain

The average stress in the structure was 1.67MPa, below the values observed in the structural simulation, but such behavior can be explained by the accumulation of stress in the contact region of the angular limiter, where the maximum equivalent elastic deformation of 0.36%, as shown in Figure 9c, in addition to this region, it is noted that in the area of contact between the pin and the disc of the limiter, there is a region of deformation with values of 0.28%. Both equivalent elastic strains occur in PLA parts and are within the limits of maximum elastic strain.

CONCLUSION

This work focuses on the design of the orthosis for FES utilization, obtaining biomechanical data via software, and analyzing the mechanical structure for a static case. Inverse dynamics simulation was performed in Opensim software to obtain torques of 7 Nm and 4.62 Nm. The simulation results were corroborated by existing data in the literature, highlighting Opensim software as a powerful tool for obtaining biomechanical data in a practical, non-invasive, and cost-effective manner, as it is open-source software. For the analysis of the orthosis, two FEA simulations were conducted using ANSYS software. The obtained results indicate that the orthosis structure and the designed limiter are capable of withstanding the worst-case loading scenario. However, they also suggest the need for future work to equalize the left and right horizontal bars to reduce stress and deformation in the bushings, to perform a transient structural analysis to study the stress distribution in the orthosis, especially in the limiter, in case of muscle fatigue where the electrical stimulation is interrupted, and the limb undergoes sudden full extension, and to make a fatigue assessment because this movement will keep happen time to time and its necessary to know how the structure will behave.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank all members of LabBio for providing assistance and infrastructural support. We are also grateful for the partnership with the National Institute of Research in Digital Science and Technology (INRIA) in France. This work was funded by the Brazilian Agency for Industrial Research and Innovation (FINEP, agreement: 01.12.0476.00). We also acknowledge the support from the Minas Gerais Research Foundation (FAPEMIG) and this study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001, grant (203345/2019-3).

REFERENCES

ANSYS: Engineering Simulation Software. Version 2019R1. ANSYS, Inc., 2019.

Donkor E.S. 2018. Stroke in the 21st Century: A Snapshot of the Burden, Epidemiology, and Quality of Life. Stroke Res Treatment. 2018 Nov 27;2018:3238165. doi: 10.1155/2018/3238165. PMID: 30598741; PMCID: PMC6288566.

Ferreira, F.M.R.M., Rúbio, G.d.P., Dutra, R.M.A., Van Patten M.V.N., Vimieiro C.B.S., 2022. Development of portable robotic orthosis and biomechanical validation in people with limited upper limb function after stroke. Robotica, 40(12), 4238-4256. doi:10.1017/S0263574722000881

IBGE. 2009. Household Budget Survey 2008-2009: Analysis of Personal Food Consumption in Brazil / IBGE, Work Coordination and Income (in portuguese), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, Rio de Janeiro, https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50063.pdf. Accessed 7 March 2023.

Lavrenko, I., Lebedysnskyi B., 2022. "Determination of the stress-strains state of the structural elements of the elbow orthosis prototype". International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 1, No 3, 2022, pp. 29-36. doi: 10.46299/j.isjea.20220103.3.

OPENSIM, 2010. Opensim Documentation (web publications), 2010. Initial page. <https://simtk-confluence.stanford.edu:8443/display/OpenSim/Documentation>. Accessed 4 May 2023.

Ovako, 2011. MatWeb: material property data (web publications). <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e288d25c76e641b4acb26399576c5bb8&ckck=1>. Accessed 12 June 2023.

Seth A, Hicks JL, Uchida TK, Habib A, Dembia CL, Dunne JJ, et al., 2018. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement. PLoS Comput Biol 14(7): e1006223. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006223.

Lawrence, E.S., Coshall, C., Dunas, R., Stewart, J., Rudd, A.G., Howard, R., Wolfe, C.D.A., 2001. Estimates of the prevalence of acute stroke impairments and disability in a multiethnic population. Stroke, v. 32, n. 6, p. 1279-1284, 2001.

Methalgata, 2019. “Technical table: Mechanical properties of laminated aluminum alloys (in portuguese).” https:metalthaga.com.br/wp-content/uploads/2017/12/5-Propriedades-Mecanicas-Ligas-deAluminio-Laminadas.pdf. Accessed 23 April 2023.

Ministério da Saúde, 2019. “Guide for prescription, concession, adaptation and maintenance of ortheses, protheses and media motion aid (in portuguese). ” Brasília, Federal District, 2019. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_manutencao_orteses_proteses_auxiliares_locomocao.pdf Acessed 1 May 2023.

Rúbio, G.d.P, Ferreira, F.M.R.M., Brandão, F.H.d.L., Machado, V.F., Tonelli, L.G., Kozan, R.F.,Vimieiro C.B.S., 2019. “Design of actuators applied to an upper limb orthosis”. In Proceedings of the 25th International Congress of Mechanical Engineering - COBEM 2019 , Uberlândia, MG, Brasil. Doi: 10.26678/ABCM.COBEM2019.COB2019-0553.URL http://www.sistema.abcm.org.br/articleFiles/download/25287.

Rúbio, G.d.P, Ferreira, F.M.R.M., Dutra, R.M.A., Mata, A.M., Bonfim, J.P.F.,Vimieiro C.B.S., 2021. “Elbow module validation of a robotic orthosis for stroke rehabilitation.” Stroke, v. 32, n. 6, p. 1279-1284, 2001. In Proceedings of the 26th International Mechanical Engineering-COBEM 2021. Florianópolis, SC, Brasil.

World Health Organization, 2021. “World health statistics 2021: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals.” World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/342703. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_5

DYNAMIC ANALYSIS OF AN UNDERACTUATED PROSTHETIC FINGER USING A FOUR-BAR MECHANISM

Flavio Germano Nassif Tondato
Universidade Federal de Minas Gerais
flaviogermano001@gmail.com

Jorge Felipe Assad Bensoussan
Universidade Federal de Minas Gerais
jorgefelipeab@gmail.com

Sarah Fernandes de Paula Cortezzi
Universidade Federal de Minas Gerais
sarah.cortezzi19@gmail.com

Guilherme de Paula Rúbio
Universidade Federal de Minas Gerais
guilhermerubio@ufmg.br

Claysson Bruno Santos Vimieiro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
claysson@ufmg.br

ABSTRACT

Prostheses are engineering devices developed to replace a missing part of the human body and play a crucial role in the quality of life of their users. A prosthesis must be capable of replicating the expected movement of a given limb while considering its size and weight. In this regard, prostheses designed for upper limb amputations or malformations stand out due to the complexity involved in replicating the natural functions of that body part while maintaining a natural look. In this context, finger movement, which presents 3 degrees of freedom, is essential for the mechanical development of an upper limb prosthesis. With technological advancements over the years, various mechanisms have been developed to achieve anthropomorphic movement, as well as efficient force transmission. Among these finger actuation mechanisms, two stand out: power transmission through a flexible transmission element that functions like a tendon, or a rigid mecha-nism known as the four-bar linkage, which consists of active and passive links that replicate finger movement. This paper aims to analyze the feasibility of a four-bar linkage mechanism in various configurations for replicating finger movement from a kinematic perspective, as well as its respective force and power transmission capabilities, considering the appli-cation of such a system in prosthetic fingers. For this purpose, parameters such as bar dimensions, angles between them, and their moments of inertia were considered to conduct comparative analyses of the equations governing the movement of different four-bar mechanisms, in addition to force and equilibrium equations. The goal is to find an optimized config-uration capable of promoting anatomical movement while ensuring efficient force transmission. Furthermore, this study aims to demonstrate the greater efficiency of using a four-bar mechanism in prosthetic fingers compared to the use of flexible elements and to identify a configuration that enhances the mechanism's performance, facilitating the development of future prostheses and increasing their efficiency.

Keywords:
Dynamic analysis, Kinematic, Prosthetic finger, Four-bar mechanism, Force transmission.

RESUMO

As próteses são dispositivos de engenharia desenvolvidos para substituir uma parte ausente do corpo humano e desempenham um papel crucial na qualidade de vida de seus usuários. Uma prótese deve ser capaz de replicar o movimento esperado de um determinado membro, considerando seu tamanho e peso. Nesse sentido, as próteses projetadas para amputações ou malformações de membros superiores se destacam devido à complexidade envolvida na replicação das funções naturais dessa parte do corpo, mantendo uma aparência natural. Nesse contexto, o movimento dos dedos, que apresenta três graus de liberdade, é essencial para o desenvolvimento mecânico de uma prótese de membro superior. Com os avanços tecnológicos ao longo dos anos, vários mecanismos foram desenvolvidos para alcançar movimentos antropomórficos, bem como uma transmissão de força eficiente. Entre esses mecanismos de atuação dos dedos, dois se destacam: a transmissão de força por meio de um elemento de transmissão flexível que funciona como um tendão, ou um mecanismo rígido conhecido como articulação de quatro barras, que consiste em elos ativos e passivos que replicam o movimento dos dedos. Este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade de um mecanismo de quatro barras em diversas configurações para replicar o movimento dos dedos, sob uma perspectiva cinemática, bem como suas respectivas capacidades de transmissão de força e potência, considerando a aplicação de tal sistema em dedos protéticos. Para tanto, parâmetros como dimensões das barras, ângulos entre elas e seus momentos de inércia foram considerados para conduzir análises comparativas das equações que regem o movimento de diferentes mecanismos de quatro barras, além das equações de força e equilíbrio. O objetivo é encontrar uma configuração otimizada capaz de promover o movimento anatômico, garantindo, ao mesmo tempo, uma transmissão de força eficiente. Além disso, este estudo visa demonstrar a maior eficiência do uso de um mecanismo de quatro barras em dedos protéticos em comparação com o uso de elementos flexíveis e identificar uma configuração que aprimore o desempenho do mecanismo, facilitando o desenvolvimento de futuras próteses e aumentando sua eficiência.

Palavras-chave:
Análise dinâmica, Cinemática, Dedo protético, Mecanismo de quatro barras, Transmissão de força.

INTRODUCTION

Upper limb amputation has a considerable impact on the lives of affected individuals. In 2017, approximately 57.7 million people worldwide lived with some type of traumatic amputation, as reported by McDonald *et al.* (2021). Fur-thermore, Yuan *et al.* (2023) demonstrated that the global rate of traumatic amputations remains high, with 13.23 million new cases registered only in the year 2019. This scenario highlights the importance of continuing the development of high-performance prosthetic technologies.

Smail *et al.* (2021) assert that a significant contributor to the abandonment of upper limb prostheses by amputees is the device's lack of functionality, particularly the deficiency in fine control necessary for executing motor activities. Consequently, it is imperative to investigate strategies to enhance the functionality of prosthetic hands. Regarding the mechanism of motion transmission, it has been observed that the vast majority of commercially available prostheses are underactuated (having less actuators than degrees of freedom) and employ one of two systems: the use of artificial tendons, or flexible transmission mechanisms, and the implementation of rigid structures based on the principle of the four-bar mechanism Belter and Aaron (2011). Artificial tendons are distinguished by their structural simplicity, lightweight nature, and ease of application in underactuated systems, providing certain advantages in specific contexts. However, prostheses that incorporate rigid mechanisms based on four-bar kinematics offer considerable benefits in terms of force transmission efficiency, movement precision, and mechanical resistance (Kashef *et al.* (2020)). This reality can be substantiated through a comparison between two widely established commercial prostheses, the iLimb and the Bebionic, as presented in Table 1 (Cordella *et al.* (2016)).

Table 1: Force comparison between different transmission mechanisms in high-end commercially available upper limb prostheses

Prothesis Model	Transmission Mechanism	Number of Motors	Max Force
i-Limb	Tendon	6	130-136 N
Bebionic	Rigid Mechanism	5	140 N
Michelangelo	Rigid Mechanism	2	70 N

Despite having one fewer motor, the Bebionic hand has been observed to achieve a higher maximum grip force than the i-Limb. This is due to the Bebionic hand's more efficient transmission system. Additionally, the Michelangelo hand, which has the lowest grip force among the three, operates with only two motors, resulting in the highest grip force per motor ratio. According to Cordella, users prioritize two main factors: the ability to exert high levels of force and the capacity for fine, precise movements. These user preferences underscore the advantages of rigid transmission systems, which generally offer greater mechanical efficiency than more complex or flexible alternatives.

Given the importance of transmission efficiency and motion precision in upper-limb prostheses, especially in models with rigid systems, the four-bar linkage mechanism is a promising solution for improving finger articulation. Widely used in mechanical transmission systems, the four-bar mechanism consists of a set of four interconnected links that operate in a coordinated manner to convert the rotation of one element into a desired movement. The geometric configuration of the system, including the length of the bars and the angles formed between them, determines the type and range of motion generated. (Norton, 1999). Thus, the selection of fixation and articulation points was based on a detailed study of human finger anatomy to replicate its dimensions and movement patterns accurately. Furthermore, care was taken to ensure that the movement generated by the mechanism adheres to the biomechanical principles of natural finger function. This enables a more precise and efficient reproduction of natural hand movements, as described in Kamper *et al.* (2003). This study aims to analyze and model the behavior of the four-bar linkage mechanism through analytical equations and finite element simulations to ensure the precise motion of prosthetic fingers and consequently enhance the device's overall functionality. To achieve this goal, a comparative analysis of variations of the mechanism will be conducted to identify the most efficient solution.

2. METHODS

To evaluate the functionality and performance of the four-bar mechanism, several design variations were developed to enable a comprehensive comparative analysis. According to Grashof's condition presented in Uicker *et al.* (2017), if the sum of the shortest (S) and longest (L) link lengths is less than or equal to the sum of the remaining two links (P and Q), the mechanism will have at least one link capable of a full 360° rotation around its joints. However, since such continuous rotation is not desirable for a prosthetic finger, a Double Rocker configuration was selected, restricting the motion of the links to a maximum of 90° from their original position.

$$S + L \leq P + Q \tag{1}$$

For the application of four-bar mechanisms in prosthetic fingers, it is possible to find configurations that replicate finger movement using crossed or non-crossed linkages. These are characterized by whether the input and output links intersect. In the crossed configuration, one point of the mechanism is able to move relative to the other, facilitating the achievement of the desired motion. On the other hand, this type of mechanism presents more restrictive locking conditions compared to the non-crossed configuration. Additionally, since the bars are arranged diagonally, the resulting components tend to be longer, which can significantly affect the load distribution within the mechanism. For the analysis proposed in this study, only variations in parameters related to crossed-bar configurations were considered.

This configuration can be divided into three parts, as illustrated in Fig. 1. The first part concerns the initial coupling of the four crossed bars and is limited to bars L1, L2 and L3, corresponding to the proximal phalanx of the prosthetic finger. The second part of the mechanism refers to bars L4, L5, L6, and L7 and corresponds to the middle phalanx. The distal phalanx is mounted at points P4 and P5, and its movement is entirely defined by the motion of these points. For this analysis, the emphasis was placed on the bar mechanism, and therefore, certain characteristics, such as the complete design development of the distal phalanx, were omitted. The separation of the beginning and end of each phalanx can be seen in Fig. 1 by the dashed line. In this configuration, the input rotation is applied to bar L3.

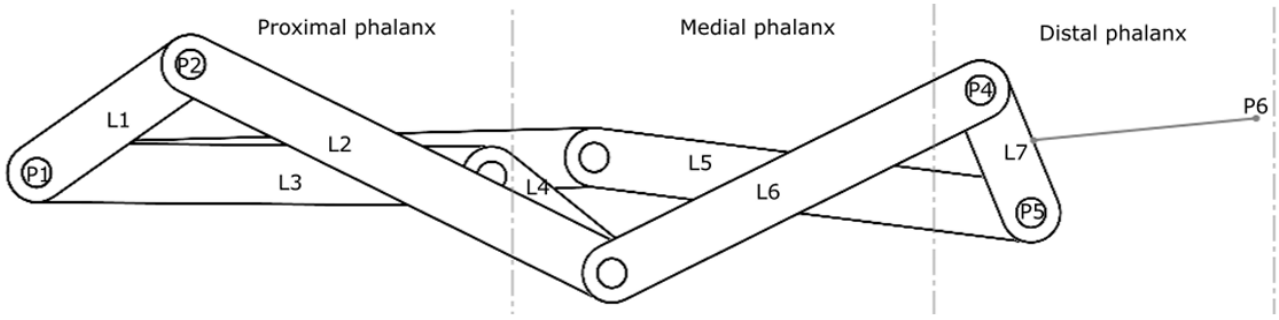


Figure 1: Base design of a crossed four-bar mechanism with linkage-to-phalanx correspondence

2.1 Design of the Mechanisms

The design of the mechanism was initiated using the SolidWorks modeling software, based on a mechanism developed by Nurdos Omarkulov *et al.* (2015). The initial reference points were obtained using data from Belter and Aaron (2011) for the development of anatomical models of upper limbs, as seen in Table 2. These values are extremely important for the development of the mechanism, since for design purposes, the points must be contained within the total dimensions of the finger. This ensures that all parts necessary for the mechanism remain internal to the overall size of the finger. Besides that, this constraint is crucial to maintain anatomical compatibility and functional feasibility. To facilitate clear identification, the notation system employs suffixes—DP, MP, and PP—to denote the distal, medial and proximal phalanx. Additionally, the prefixes B, L, and D correspond to the spatial dimensions of width, length, and height. The number 2 in the table indicates that the measurements refer to finger two, that is, the index finger.

Table 2: Maximum Dimensions of the Phalanx

Phalanx	Avarage	Top 95%	Top 5%
B2DP	16,7	20	18
B2MP	18,8	22	16
B2PP	22,4	26	19
L2DP	24,5	28	21
L2MP	25,6	30	21
L2PP	45,3	52	39
D2DP	13,3	16	11
D2MP	16,6	20	40
D2PP	21,2	25	18

To ensure consistency between the movement simulations, an initial state was defined for the mechanism's start of movement. This initial state can be ensured through a constraint between two bars before the movement begins. Given a generic crossed four-bar mechanism as can be seen in Fig. 2, the maximum and minimum angles can be defined as the angles at which the bar mechanism uncrosses. The max angle can be visually seen in Fig. 3(a) and the minimun angle can be seen in Fig. 3(b).

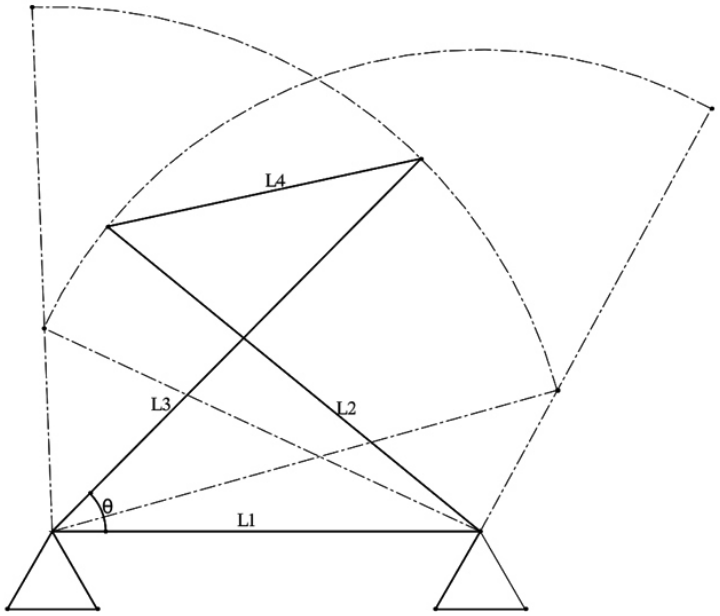
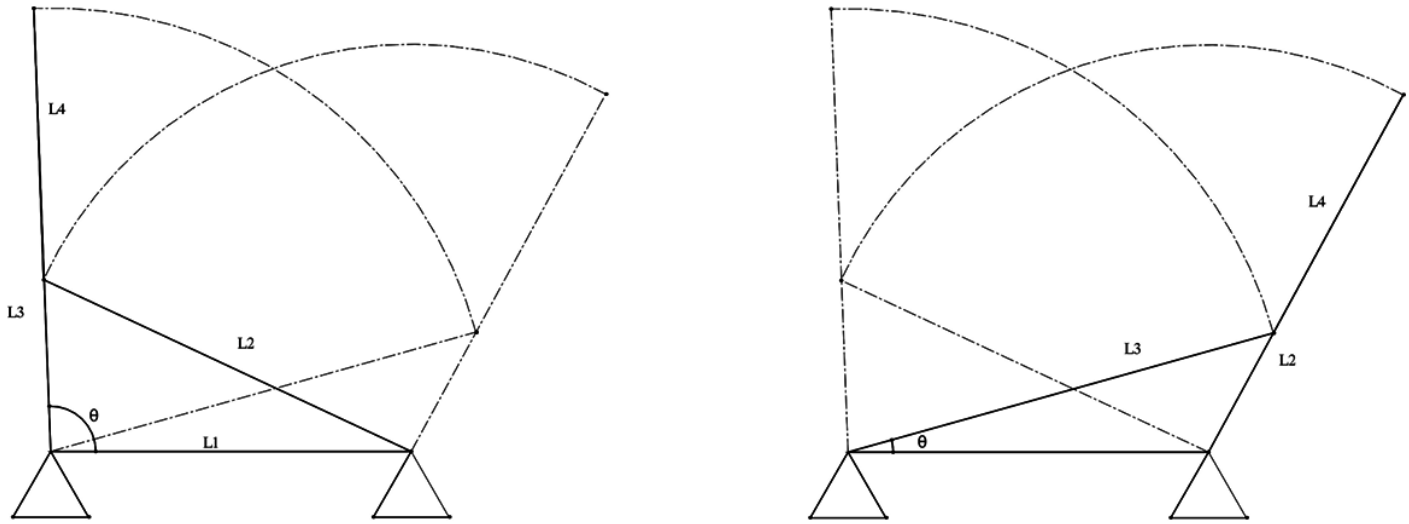


Figure 2: Generic crossed four-bar mechanism with trajectory



(a) Maximum angle achieved by ϑ during the mechanism move-ment

(b) Minimum angle achieved by ϑ during the mechanism move-ment

Figure 3: Angle achieved by ϑ during the moviment of a crossed four-bar mechanism

Thus, through the law of cosines, the maximum and minimum opening angles can be defined in Eq. 2 and Eq.3.

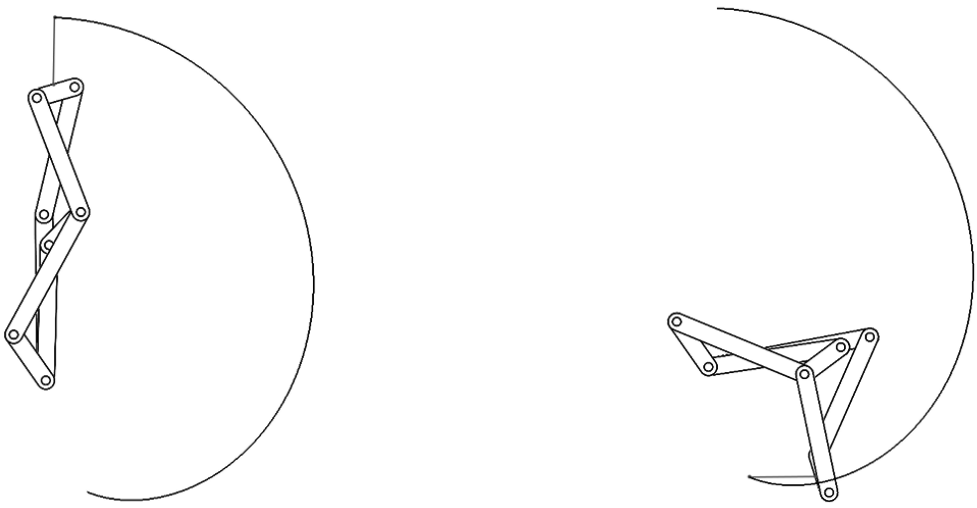
$$\theta_{\min} = \arccos\left(\frac{L_2^2 + L_1^2 - (L_3 - L_4)^2}{2L_1L_2}\right) \tag{2}$$

$$\theta_{\max} = \arccos\left(\frac{L_2^2 + L_3^2 - (L_2 - L_4)^2}{2L_1L_2}\right) \quad (3)$$

Because this maximum point is critical, it is not desirable for the mechanism to begin in the fully open position. In this case, a 36° angle constraint was set between bars L1 and L3. This ensures that all mechanisms will start from the same initial angle, enabling validation of the full range of motion. Due to the system's geometric parameters, this angle guarantees safety by remaining well within the maximum permissible angle. In the final design, stops and travel limiters can ensure the initial position angle.

2.2 Kinematic Simulation of Finger Flexion

In an effort to evaluate the impact of the bars lengths, variations of the original mechanism were made. Starting from the dimensions of a mechanism capable of performing the full range of motion, the length of each bar was varied relative to its original length. The variation consisted of either a 10% increase or decrease from its initial size. With the mechanisms fully assembled, an analysis was carried out to evaluate the motion generated by each configuration applied to the prosthetic finger. The selected motion for this analysis was flexion, as it allows for a complete observation of the finger's trajectory, from the fully extended position to the fully flexed position. To perform this simulation, SolidWorks Motion, a kinematic solver, was used to replicate the path described by the fingertip during movement. In order to ensure consistent conditions for comparison between the different configurations, all simulations were conducted using the same parameters: a rotational motor with a constant speed of 3 rpm was applied at point P1, operating for a duration of 5 seconds; and a remote tracking point, P6, was positioned 15 mm from linkage L7 - since the mechanism's endpoint does not exactly coincide with the prosthetic fingertip, this distance was added to account for the design characteristics of the finger, while still taking into consideration the dimensions in Table 2. The aforementioned points are illustrated in Fig. 1. To illustrate, Fig. 4(a) shows the initial condition of the mechanism, while Fig. 4(b) shows the final position. The black line represents the path traveled by point P6.



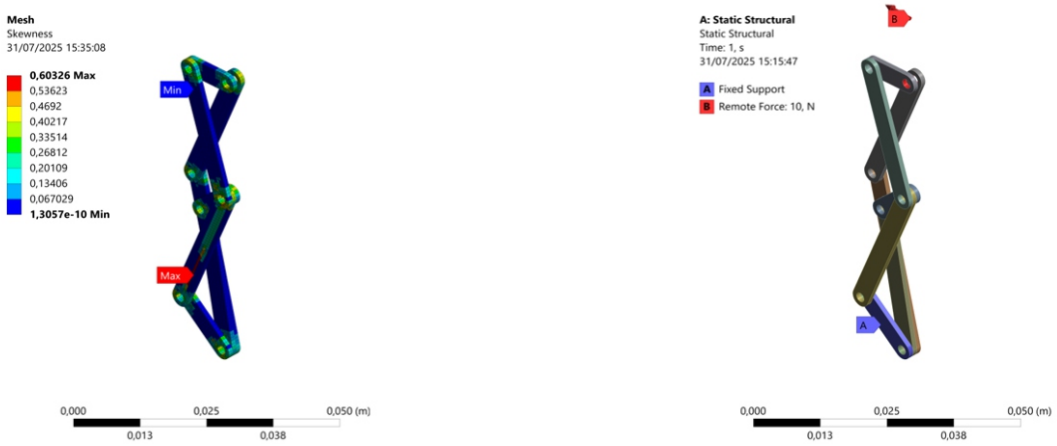
(a) Initial trajectory (b) Developed trajectory

Figure 4: Path traced by the distal phalanx throughout the entire flexion movement using SolidWorks Motion.

The data obtained from the simulations were exported to Microsoft Excel, where they were organized into structured tables. These tables captured the displacement of a designated remote point along both the X and Y axes, providing a clear representation of its movement over time. The trajectory graphs, which were subsequently generated based on the organized dataset, visually illustrate the path traced by the remote point throughout the simulation process. These graphical representations enabled a comprehensive and comparative analysis of the different variations of the simulated mechanisms, allowing for the identification of patterns, performance differences, and potential improvements among the configurations evaluated. It is also noteworthy that the Z-axis values obtained during the simulation were not considered in the analysis of the two-dimensional flexion motion, as they were deemed irrelevant.

2.3 Finite Element Simulation

A static structural analysis was conducted to understand the behavior of the mechanisms under operating conditions. This analysis was performed using ANSYS-Mechanical® 2025 R1 (ANSYS INC., Lebanon, NH, USA) software. The se-lection of titanium alloy as the material for the bars was driven by its advantageous properties. These properties contribute to the financial and mechanical feasibility of the project. However, given that a comparative study between mechanisms was conducted, the material is not a relevant characteristic. This is because the expected results for the relative stress between the mechanism configurations remain the same regardless of the material used. To perform the finite element analysis of the mechanism, simulations were carried out on the mechanisms that achieved the most satisfactory trajecto-ries with both the highest and lowest amplitudes. In addition to the base mechanism, which was used as a reference for the non-dimensionalization of the results obtained, simulations were also conducted on mechanisms in which variations in bar length were applied. The boundary conditions can be seen in Fig. 5(a), and the skewness generated by the mesh can be observed in Fig. 5(b). The element size that generated this mesh is 7E-4m.



(a) Mesh and skeweness for the base mechanism

(b) Boundary conditions for the base mechanism

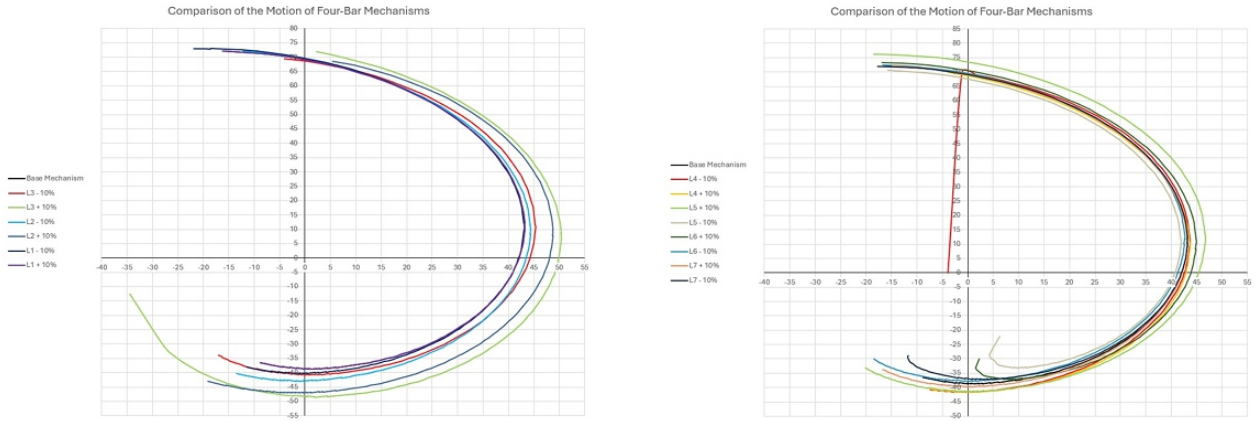
Figure 5: Finite element simulation conditions for base mechanism

A load of 10 N was applied, in accordance with other upper limb prostheses (Table 1). The force was applied at a remote point located 15 mm from the mechanism, corresponding to the distance between the load application point and the distal phalanx. The force was applied in the opposite direction to the movement, simulating a reaction force. The lower bar of the mechanism was defined as a fixed support and is shown in Fig. 5 (b) as region A. Furthermore, the joints belonging to this area were defined as fixed, while the others were defined as revolute.

3.RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Kinematic Simulation of Finger Flexion

The trajectories resulting from variations in the mechanisms are illustrated in Fig. 6. Fig. 6(a) shows the variations in linkages 1, 2, and 3, and (b) shows the variations in linkages 4, 5, 6 and 7. Mechanisms that exhibited deformations at the end of the trajectory, such as variants L5-10% and L6+10%, were excluded from further analysis. These deformations are attributed to permanent uncrossing of the bars.



(a) Path described by the base mechanism the mechanisms with variaitons in linkages 1, 2 and 3

(b) Path described by the base mechanism and the mechanisms with variaitons in linkages 4, 5, 6 and 7

Figure 6: Comparison between paths traced by the fingertip on different mechanisms

The phenomenon of bar uncrossing causes the velocity of certain points in the mechanism to become extremely high, and it can permanently damage the mechanism by altering its configuration. This phenomenon should be avoided as much as possible through the use of mechanical travel limiters, which must be embedded in the final project design. However, these limiters also reduce the full motion range of the mechanism, which may compromise the intended objective. It was observed that certain modifications to the mechanism lead to considerable changes. The velocity graph for point P6 for the B6+10% variation is shown in Fig. 7.

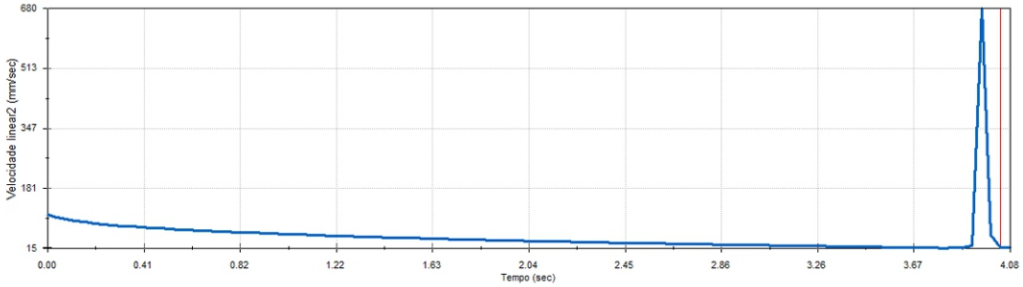


Figure 7: Mechanism L6+10% velocity variation during the movement simulation

It was observed that the main factor influencing this behavior is the inclination of bar L7. The greater the positive inclination relative to the direction of motion, the lower the occurrence of bar uncrossing. Mechanism characteristics, such as the length of bar L5 relative to bar L6, are extremely important to

ensure that the movement can be fully developed without collapsing. Variations related to the characteristics of bars L1, L2, and L3 proved to be less sensitive to this phenomenon. Another point that was observed is the restriction of the initial state. The initial state was defined as the point at which the mechanism begins its motion. This state can be defined using a reference angle between L1 and any other bar. In this study, an initial angle of 36º between L1 and L3 was used. However, with variations in the parameters of L2 and L3, this angle could not be achieved due to the geometric characteristics of the mechanism.

Furthermore, it was observed that variations in the parameters associated with the second part of the four-bar mech-anism primarily influenced the minimum opening angle, despite the absence of these parameters in the equation. This phenomenon can be attributed to the occurrence of uncrossing of the aforementioned bars.

In general, observations indicate that there are no significant differences among the variations of the mechanism. In summary, the examination revealed that all variants exhibited a trajectory that closely resembled that of the baseline mechanism, with only minor and not particularly significant deviations in the amplitude of the path. Consequently, for the purposes of prosthetic development, the selection of the bar dimensions could be guided primarily by other design considerations, such as spatial constraints, weight reduction, aesthetic preferences, and structural integrity, rather than by concerns regarding trajectory fidelity. Nonetheless, it is essential to examine which specific bars had the most pronounced impact on the variation of the trajectory. It has been observed that alterations in bars L2, L3, L5, and L6 have led to substantial deviations from the initial trajectory. This phenomenon can be attributed to the critical role played by the crossed bars in the overall performance and kinematic behavior of the mechanism, as their configuration substantially influences the trajectory traced by the mechanism.

3.2 Finite Element Simulation

With the application of the force, the result is shown in Fig. 8. All simulations exhibited the minimum stress at the base of the mechanism and the maximum stress at the intersection point of L3 with L4, which can be seen in Fig. 9. In addition to bar L1, which represents the base of the mechanism as a whole, bar L5 was the one that exhibited the lowest stress distribution in all simulations.

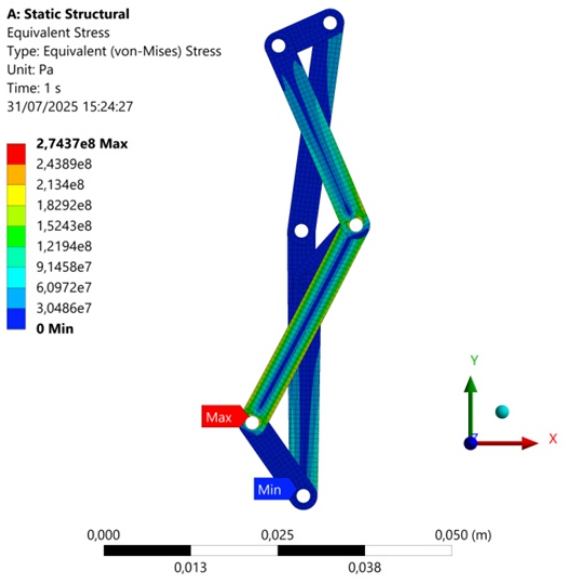


Figure 8: Stress distribution defined by the finite element simulation of variation L7-10%

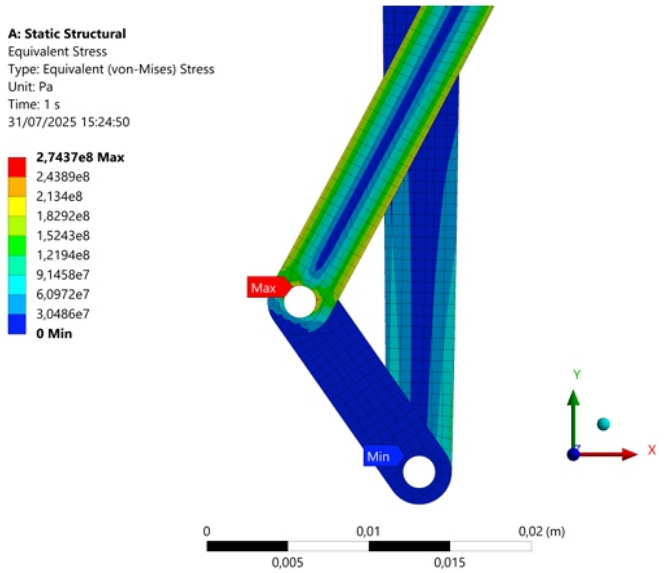


Figure 9: Maximum stress generated in the bar L7-10% simulation

For better visualization, the maximum and minimum values of each simulation can be seen in Table 3.

Table 3: Stress values defined by the finite element simulation

Mechanism	Minimum (Pa)	Maximum (Pa)	Average (Pa)
Base	0	3,24E+08	4,57E+07
B2+10%	0	5,55E+08	8,47E+07
B3+10%	0	5,17E+08	6,70E+07
B7-10%	0	2,74E+08	3,48E+07

However, these values are relative stress values for titanium alloy. To make the study independent of the material used, a non-dimensionalization of the results was performed using the base mechanism as a reference, just as was done in the parameter variations. The results obtained after the non-dimensionalization can be seen in Fig 10.

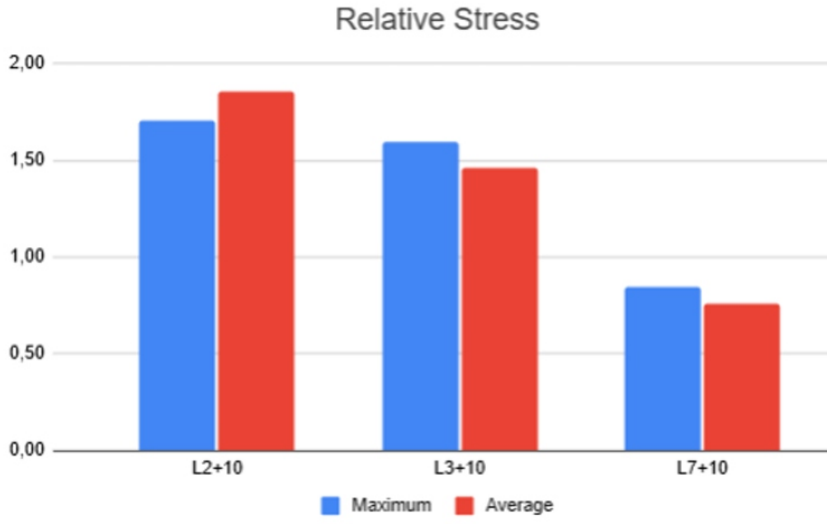


Figure 10: Relative stress between L2+10%, L3+10%, L7-10% and the base mechanism

The values obtained demonstrate that, despite the negligible variation in the trajectory of the mechanism, the variation in the forces on the bars was substantial. Since the minimum stress value in all tests was zero, it was decided to omit this information in the relative stress graph. In certain tests, it is possible to observe a considerable increase in the stress concentrators. The most reduction in maximum stress was observed when the size of L7 was reduced. Furthermore, the maximum stress value was concentrated in the region corresponding to the proximal phalanx, indicating that this phalanx is a potential failure point in the design. In all tests, the stress was completely concentrated in L2. Therefore, attention must be paid to potential stress concentrators. The medial phalanx exhibited a reduced stress distribution, suggesting that it may not necessitate as much attention with respect to potential failures.

The maximum stress value is extremely important to consider as it reveals potential stress concentrators that should be avoided. On the other hand, the simulation only considers the bar mechanism, and these maximum stress values can be reduced through the final design by varying certain parameters such as the cross-sectional area and bar geometry.

CONCLUSION

This work demonstrated that the trajectory of an underactuated prosthetic finger driven by a four-bar mechanism remains largely unaffected by variations in the lengths of its bars. However, these dimensional changes have a significant impact on the magnitude of the stresses experienced by the mechanism; in particular, modifications to bar L7 showed considerable potential in reducing stress concentrations, which are typically localized in the proximal phalanx. Beside that, since not all bar configuration variations were tested, it cannot be concluded that the variation of bar L7 corresponds to the optimal configuration, leaving room for alternative arrangements that may further reduce the maximum stress value.

The reduction in stress has meaningful implications for the design of upper limb prosthetic mechanisms, as it enables a decrease in internal forces without compromising the desired motion trajectory. Consequently, it becomes feasible to develop lighter yet mechanically robust prostheses by making minimal adjustments to the mechanism's configuration, ultimately enhancing user comfort and increasing the probability of adoption of prostheses.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Department of Mechanical Engineering of the Universidade Federal de Minas Gerais for the support available to carry out this project. We also acknowledge our funders: Financiadora de Estudos e Projetos - MCTI/FINEP [grant number 01.21.0101.00, Ref.2790/20 and grant number 01.24.0167.00, Ref.2188/22]; and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes [grant number 001].

REFERENCES

Belter, J.T. and Aaron, D., 2011. “Performance characteristics of anthropomorphic prosthetic hands”. In 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics.

Cordella, F., Ciancio, A.L., Sacchetti, R., Davalli, A., Cutti, A.G., Guglielmelli, E. and Zollo, L., 2016. “Literature review on needs of upper limb prosthesis users”. Frontiers in Neuroscience, Vol. 10.

Kamper, D.G., Cruz, E.G. and Siegel, M.P., 2003. “Stereotypical fingertip trajectories during grasp”. Journal of Neuro-physiology, Vol. 90, No. 6, pp. 3702–3710.

Kashef, S.R., Amini, S. and Akbarzadeh, A., 2020. “Robotic hand: A review on linkage-driven finger mechanisms of prosthetic hands and evaluation of the performance criteria”. Mechanism and Machine Theory, Vol. 145, p. 103677.

McDonald, C.L., Westcott-McCoy, S., Weaver, M.R., Haagsma, J. and Kartin, D., 2021. “Global prevalence of traumatic non-fatal limb amputation”. Prosthetics and Orthotics International, Vol. 45(2), pp. 105–114.

Norton, R.L., 1999. Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. 2. ed. McGraw-Hill.

Nurdos Omarkulov, K.T., Zeinullin, M., Begalinova, A. and Shintemirov, A., 2015. “Design and analysis of an underac-tuated anthropomorphic finger for upper limb prosthetics”. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.

Smail, L.C., Neal, C., Wilkins, C. and Packham, T.L., 2021. “Comfort and function remain key factors in upper limb prosthetic abandonment: findings of a scoping review”. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, Vol. 16(8), pp. 821—830.

Uicker, J.J., Pennock, G. and Shigley, J., 2017. Theory of Machines and Mechanisms, 5th edition, 33-35. Oxford University Press.

Yuan, B., Hu, D., Gu, S., Xiao, S. and Song, F., 2023. “The global burden of traumatic amputation in 204 countries and territories.” Frontiers in Public Health, Vol. 11.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are solely responsible for the printed material included in this paper.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_6

IN SILICO MODEL TO EVALUATE THE EFFECT OF CORONARY OSTIA POSITION ON STRESS AND STRAIN DURING THE OSCILLATION OF BIOLOGICAL HEART VALVE LEAFLETS

Matheus Carvalho Barbosa Costa
Universidade Federal de Minas Gerais
mt94_carvalho@hotmail.com

Saulo de Freitas Gonçalves
Universidade Federal de Minas Gerais
saulodfg@gmail.com

Mário Luis Ferreira da Silva
Universidade Federal de São João Del-Rei
marioluisfs@gmail.com

Luiz Eduardo Cardoso de Oliveira
Universidade Federal de Minas Gerais
luizeco06@gmail.com

Rudolf Huebner
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Universidade Federal de Minas Gerais
rudolf@demec.ufmg.br

ABSTRACT

A previous study showed that the position of the coronary ostia did not significantly affect T-mode leaflet oscillations, i.e., high-amplitude and low-frequency oscillations. This occurred despite the position of the coronary ostia affecting the flow pattern within the sinuses of Valsalva. However, this study did not provide a detailed analysis of whether the structural properties of the leaflets, such as stress and strain, were affected. Therefore, the purpose of this chapter is to analyze the impact of structural parameters resulting from the change in the position of the coronary ostia. For this purpose, a three-dimensional computational fluid-structure interaction model was developed, considering three distinct positions for the coronary ostia. The valve geometry was based on a study of the literature, and the fluid domain consists of the left ventricular outflow tract, the ascending aorta, the sinuses of Valsalva, and the coronary arteries at different positions for each of the three cases. Physiological boundary conditions were applied at the inlet (left ventricular outflow tract) and outlets (ascending aorta and coronary arteries) of the computational model. Blood is a Newtonian fluid and the valve is hyperelastic and isotropic. Only the systolic phase of the cardiac cycle was considered. The results suggest that the position of the coronary artery did not alter the distribution or quantitative values of stress and strain in the leaflets. In addition, the commissure region exhibited stress values three times higher than those observed in the center of the leaflets, indicating that it is the region most prone to leaflet degradation. Finally, it was observed that the oscillation occurs not only along the length of the leaflets but also in the circumferential direction. This study is expected to enhance the scientific understanding of the phenomenon of leaflet oscillation, contributing to the development of more durable valves in the future.

Keywords:
In silico test; Fluid-structure interaction; Leaflet fluttering; Coronary ostia positioning; Heart valve; Stress and strain analysis.

RESUMO

Um estudo anterior demonstrou que a posição dos óstios coronários não afetou significativamente as oscilações dos folhetos em modo T, ou seja, oscilações de alta amplitude e baixa frequência. Isso ocorreu apesar da posição dos óstios coronários influenciar o padrão de fluxo nos seios de Valsalva. Contudo, esse estudo não forneceu uma análise detalhada sobre se as propriedades estruturais dos folhetos, como tensão e deformação, foram afetadas. Portanto, o objetivo deste capítulo é analisar o impacto dos parâmetros estruturais resultantes da mudança na posição dos óstios coronários. Para isso, foi desenvolvido um modelo tridimensional computacional de interação fluido-estrutura, considerando três posições distintas para os óstios coronários. A geometria da válvula foi baseada em um estudo da literatura, e o domínio do fluido consiste no trato de saída do ventrículo esquerdo, na aorta ascendente, nos seios de Valsalva e nas artérias coronárias em diferentes posições para cada um dos três casos. Condições de contorno fisiológicas foram aplicadas na entrada (trato de saída do ventrículo esquerdo) e nas saídas (aorta ascendente e artérias coronárias) do modelo computacional. O sangue é um fluido newtoniano e a válvula é hiperelástica e isotrópica. Apenas a fase sistólica do ciclo cardíaco foi considerada. Os resultados sugerem que a posição da artéria coronária não alterou a distribuição ou os valores quantitativos de tensão e deformação nos folhetos. Além disso, a região da comissura apresentou valores de tensão três vezes maiores do que os observados no centro dos folhetos, indicando que esta é a região mais propensa à degradação dos folhetos. Finalmente, observou-se que a oscilação ocorre não apenas ao longo do comprimento dos folhetos, mas também na direção circunferencial. Espera-se que este estudo aprimore a compreensão científica do fenômeno da oscilação dos folhetos, contribuindo para o desenvolvimento de válvulas mais duráveis no futuro.

Palavras-chave:
Teste *in silico*; Interação fluido-estrutura; Vibração dos folhetos; Posicionamento dos óstios coronários; Válvula cardíaca; Análise de tensão e deformação.

INTRODUCTION

The aortic valve is located on the left side of the human heart. Its function is to regulate the blood flow from the left ventricle to the aorta (Johnson et al., 2020; Xu et al., 2020). These valves are composed of three flexible leaflets that open and close in response to the pressure gradient upstream and downstream of the valve (Chen and Luo, 2020). Each of the leaflets consists of three distinct layers: the ventricularis layer, facing the left ventricle, with a higher concentration of elastin and collagen in the radial direction; the fibrous layer, facing the aorta, with a higher concentration of elastin and collagen in the circumferential direction; and the spongiosa layer, located between the two previously layers and composed of polysaccharides, which serve to absorb compressive forces (Kadel, 2020; Tango, 2020). This configuration ensures that these components can withstand the complex loading conditions produced by local hemodynamics, such as adverse pressure gradients, the impact of pulsatile flow, vortex formation, and oscillatory shear stress (Aboelkassem, Savic & Campbell, 2025).

Recently, due to the aging process in both developed and emerging countries, heart valve diseases have become one of the main concerns for health agencies (AlAttar, Gkouti & Czekanski, 2023; Yu et al., 2021). These diseases affect hemodynamic performance and reduce the left ventricle's ability to pump blood (Singh et al., 2008). When the dysfunction becomes severe, the only treatment option to ensure patients' quality of life is to replace the damaged valves with prostheses (Yu et al., 2021). Every year, more than 290,000 patients undergo surgery to replace damaged valves globally, and it is estimated that this number will reach 850,000 by the year 2050 (Guo et al., 2021). Currently, there are two types of valves that are preferred for valve replacement: mechanical valves (MHV) and biological valves (BHV). The choice between these two types of prostheses depends on both intrinsic and extrinsic factors related to the patient. Intrinsic factors include the presence of comorbidities, such as congestive heart failure, kidney failure, coronary artery disease, and lung diseases, as well as patient age 60 years old. Meanwhile, extrinsic factors are related to the structures of the prosthetic valves, since each type of prosthesis has distinct characteristics in terms of its structural features (Maier, Fernandes & Dessore, 2021).

Both options have advantages and disadvantages. MHVs are known for their high durability; however, due to the material used in their manufacture and the disturbances they cause in local hemodynamics, these valves are still associated with thrombus formation, necessitating the long-term administration of anticoagulants (Marinval et al., 2018). BHVs, in contrast, exhibit a structural architecture that closely resembles the native heart valve, preserving physiological local hemodynamics and minimizing the thrombotic activation mechanism. However, these valves have a short lifespan, mainly due to the deterioration of the tissues used in their manufacture. This deterioration is related to the progress of



calcification and fatigue on the leaflets (Tsolaki et al., 2023). BHVs implanted using the two techniques currently available, Open-heart Surgical Aortic Valve Replacement (SAVR) and Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI), typically exhibit a functional durability of approximately 10-20 years (Yu et al., 2021; Marinval et al., 2018). In this case, since the SAVR procedure is still considered the gold standard in the literature, while the TAVI procedure still has certain requirements for implantation, patients must undergo other invasive procedures during their lives.

Evangelista et al. (2025) indicates the two hypotheses most discussed by the scientific community regarding the increase in calcification. The first associates the progression of calcification with the reaction between calcium present in the extracellular matrix and phosphorus linked to the membrane, while the second states that the glutaraldehyde solution used to improve the structural stability of bovine and porcine tissues can accelerate calcification by modifying phosphorus-rich calcified structures present in the tissue, promoting mineralization. However, based on the studies by Tsolaki et al. (2023) and Costa et al. (2025a), it can be suggested that the oscillation of the leaflets may intensify the mechanisms associated with BHV degradation. The leaflet fluttering can affect both blood flow and structural parameters, introducing an oscillatory behavior. Thus, by generating an oscillatory stress, it can intensify the fatigue process, creating microcracks on the surface of the leaflets. This may contribute to the mechanisms discussed in the first hypothesis proposed by the scientific community (Evangelista et al., 2025). Some studies in the literature have attempted to improve the understanding of the phenomenon of leaflet oscillation (Costa et al., 2024; Costa et al., 2025a; Costa et al., 2025b; Costa et al., 2026; Johnson et al., 2020; Lee et al., 2021; Avelar et al., 2017; Zhou et al., 2024; Johnson et al., 2022; Bornemann & Obrist, 2024), but it remains a poorly explored subject of study.

Since heart valves are passive components, the oscillation of the valve leaflets may be closely related to the flow pattern near the valve. Zhu et al. (2023) demonstrated in an *ex vivo* study that the presence of coronary arteries affects the dynamics of the leaflets, as it changes local hemodynamics. The coronary arteries are responsible for supplying blood to the heart tissue and originate from the ostia located in the two sinuses of Valsalva (SOV). Physiologically, anatomical variations may occur with respect to the coronary arteries and the positioning of the ostia, which may include coronary dominance, origin and path, irrigation of the inferior wall, the sinoatrial and atrioventricular nodes, and positions higher or lower than the normal position and at the commissural level (Kastellanos et al., 2018). These variations may be related to changes in local hemodynamics and, consequently, to the oscillation parameters of the BHV leaflets.

The development of fluid-structure interaction (FSI) models (*in silico* test) for the controlled study of the cardiovascular system can help overcome the limitations associated with direct and indirect measurements in *in vivo* and *in vitro* experimental methodologies, while also being relatively low-cost and noninvasive (Sigüenza et al., 2018). That's because these *in silico* models are capable of capturing the interaction between blood flow and the dynamics of structural elements.

Currently, we know only two studies that evaluate the effect of the location of the coronary artery ostia on particular parameters. Kivi et al. (2020) developed a two-dimensional FSI model to evaluate the effect of the position of the coronary artery ostia on velocity at the valve orifice, transvalvular pressure, valve opening, wall shear stress developed in the valve leaflets, and the flow structure within the SOVs. Although the authors observed the effects of coronary ostia on these parameters, the study does not include the three-dimensional characteristics of the flow and does not discuss leaflet oscillation. In contrast, the study by Costa et al. (2026) conducted a three-dimensional FSI analysis of the impact of coronary ostia position on leaflet oscillation. In this study, the authors showed that the position of the ostia did not affect T-mode oscillations (Jahren et al., 2026), i.e., high-

amplitude and low-frequency oscillations that propagate from the base to the free edge of the leaflets. The authors suggest that this similarity may be related to the predominance of pressure on the leaflet oscillations during systole. In the deceleration phase, which is characterized by recirculation within the SOVs, differences were observed in the displacements among the different cases studied. However, in this study, the authors focused only on flow-related quantities and did not present characteristics of solid-domain quantities, such as stress and strain.

The purpose of this chapter is to evaluate the effect of coronary positioning on the structural parameters of the BHV throughout the oscillation of the leaflets using three-dimensional FSI models. This study is a continuation of the study by Costa et al. (2026) that details the impact of coronary artery position on leaflet oscillation parameters and local hemodynamics. This chapter will be structured as follows: Section 2 presents details on the development of the computational models; Section 3 presents the stress and strain results along the leaflets for the cases considered; Section 4 presents the main discussions regarding the results and the limitations of the models presented; and Section 5 will outline the main conclusions of the study.

2. Materials and Methods

As described in the introduction, this study is a continuation of the study by Costa et al. (2026), and will focus on the results related to the structural domain of the computational models. However, only the DIST, MED, and PROX cases (Costa et al., 2026) will be considered. The DIST case is characterized by the ostia being distant from the left ventricle; the MED case is characterized by the ostia being located in the center of the SOV; and the PROX case is characterized by the ostia being close to the left ventricle. For more details on the methodology, see the study by Costa et al., (2026).

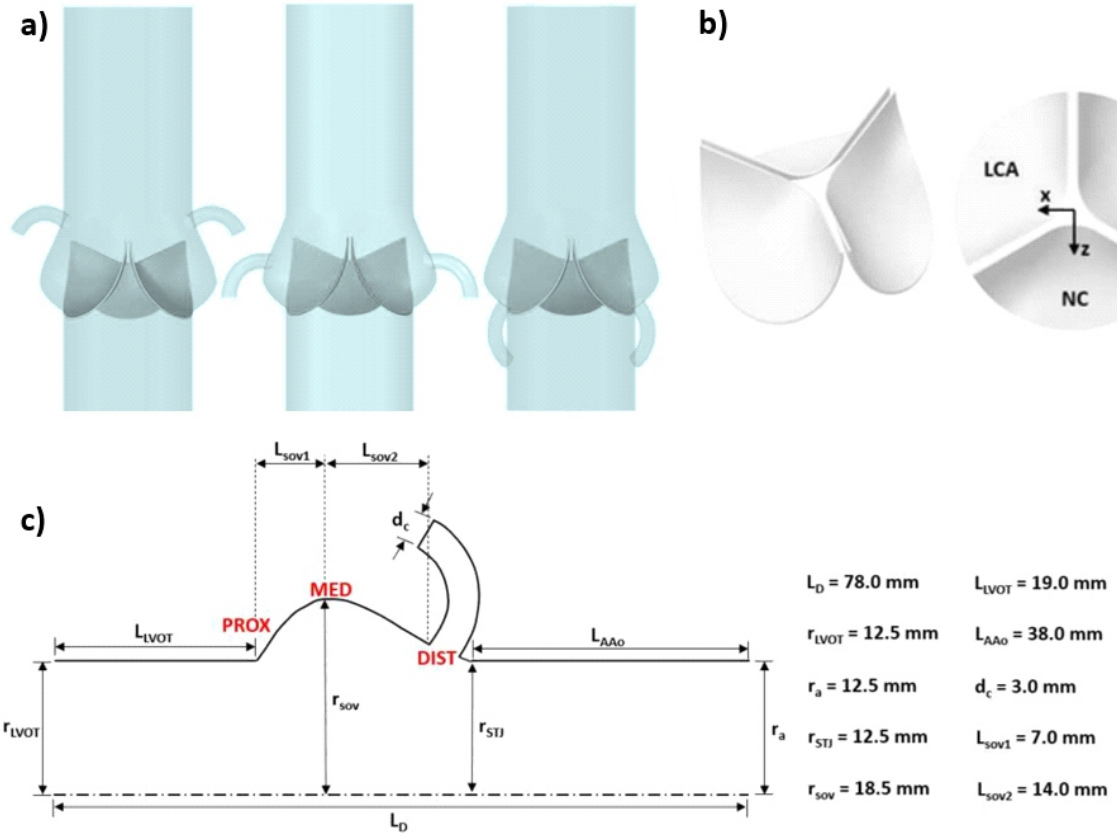
2.1 Computational model

In this study, the domain of the computational model consists of the three leaflets of an aortic BHV and the lumen where blood flows. The geometry of the leaflets was developed using SolidWorks software (Dassault Systèmes), based on the geometry proposed by Abbasi and Azadani, (2020). The leaflets were assumed to be symmetrical, with a constant thickness of 0.3 mm, an internal diameter of 25 mm, a protrusion height of 15 mm, and a height ratio between the center of the free edge and the commissure of 0.87. Figure 1 shows the undeformed configuration used as the starting configuration for the computational models.

The lumen consists of the left ventricular outflow tract (LVOT), the ascending aorta (AAo), the sinuses of Valsalva (SOV), and the two coronary arteries (CA) located in two of the sinuses, the left coronary artery and the right coronary artery. The LVOT and AAo were considered straight tubes with the same diameter as the BHV, a value within the physiological range for healthy adults (Roman et al., 1989), and the CA were considered curved tubes with a diameter of 3 mm, also with values within the physiological range for healthy adults (Dodge et al., 1992). Both coronary arteries were assumed to have the same diameter in order to isolate the effect of coronary artery positioning on SOVs. Finally, the SOVs were symmetrical and developed based on the methodology proposed by Borowski et al. (2018), with dimensions based on the study by Okada et al. (2024). To evaluate the effect of the

position of the coronary arteries on the structural response of the leaflets, three distinct cases were considered: coronary arteries distant from the left ventricle, referred to as DIST; coronary arteries in the center of the left ventricle, referred to as MED; and coronary arteries close to the left ventricle, referred to as PROX. Figure 1 shows the computational domain and its respective dimensions.

Figure 1: Computational domain considered for the execution of the computational models. a) Domain showing the three coronary artery positions adopted (DIST on the left, MED in the middle, and PROX on the right), b) Undeformed configuration of the BHV leaflets, c) Details of the dimensions used for the domain lumen. LCA: Left coronary artery leaflet; RCA: Right coronary artery leaflet; NC: Non coronary leaflet; LVOT: Left ventricular outflow tract; SOV: Sinus of Valsalva; AAo: Ascending aorta artery; STJ: Sinus tubular junction; a: aorta artery; D: Domain; c: coronary.



For all three models, blood was treated as a Newtonian fluid, since the aorta has a large cross-sectional area and is exposed to a high shear rate (> 100 s^{-1}) (Gilmanov et al., 2019). A dynamic viscosity of 0.0035 Pa.s and a density of 1060 kg/m³ were adopted (Luraghi et al., 2019). For the BHV leaflets, the three-parameter Mooney-Rivlin model was adopted, i.e., the leaflets were considered to be hyperelastic and isotropic. The deformation energy per unit of undeformed volume (W) is given by Eq. (1):

$$W(\bar{I}_1, \bar{I}_2, J) = C_{10}(\bar{I}_1 - 3) + C_{01}(\bar{I}_2 - 3) + C_{11}(\bar{I}_1 - 3)(\bar{I}_2 - 3) + \frac{1}{d}(J - 1)^2 \quad (1)$$

where, $\bar{I}_1$ e $\bar{I}_2$ are invariants of the deviatoric stress tensor, C_{10}=32.823 kPa, C_{01}=2.955 kPa e C_{11}=585.790 kPa were calibrated using experimental data obtained from porcine tissue (Cao et al., 2017), d is the incompressibility parameter, $J=\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$, where λ_i are the principal stretches. A density of 1100 kg/m³ was adopted for the leaflets, and they were assumed to be incompressible, i.e., J = 1 (Ma et al., 2022; Sadrabadi et al., 2021).

Blood flow is governed by the continuity equation (Eq. 2) and the momentum equation (Eq. 3), assuming isothermal, incompressible, unsteady flow in the absence of field forces.

$$\nabla \cdot u = 0 \tag{2}$$

$$\rho_f\left[\frac{\partial u}{\partial t} + (u - w) \cdot \nabla u\right] = -\nabla p + \nabla \cdot \tau \tag{3}$$

where **u** is the velocity vector field, **w** is the velocity of the moving mesh, p is the pressure field, ρ_f is the blood density, t is the time, and τ is the viscous stress tensor. Equation 2 and Eq. 3 were discretized using the finite volume method with the Fluent software (ANSYS 2024R1). The main solver used was the Pressure-based solver, and the linear solver was the Multigrid algebraic solver; for the coupling between pressure and velocity, the PISO scheme (Issa, 1986) was chosen; for the spatial discretization of Eq. 2, the Rhie and Chow method (Rhie & Chow, 1983) was used; time discretization was performed using a first-order implicit scheme; the central difference scheme was used for the discretization of the diffusive term; a second-order upwind scheme was used for the convective term; the standard scheme was selected for pressure interpolation; and the Least Squares Cell-based method was used for the gradients calculation. Since the region near the valve contains sources of turbulence (Reynolds number above 5,000, pulsating flow, and valve movement), the k-ω SST turbulence model was used. A target convergence criterion of 10^{-4} was adopted for continuity and 10^{-5} for the velocity components and turbulence parameters (k and ω).

The dynamics of the BHV are governed by the momentum equation for deformable bodies, expressed in Lagrangian form (Eq. 4) in the absence of a field force.

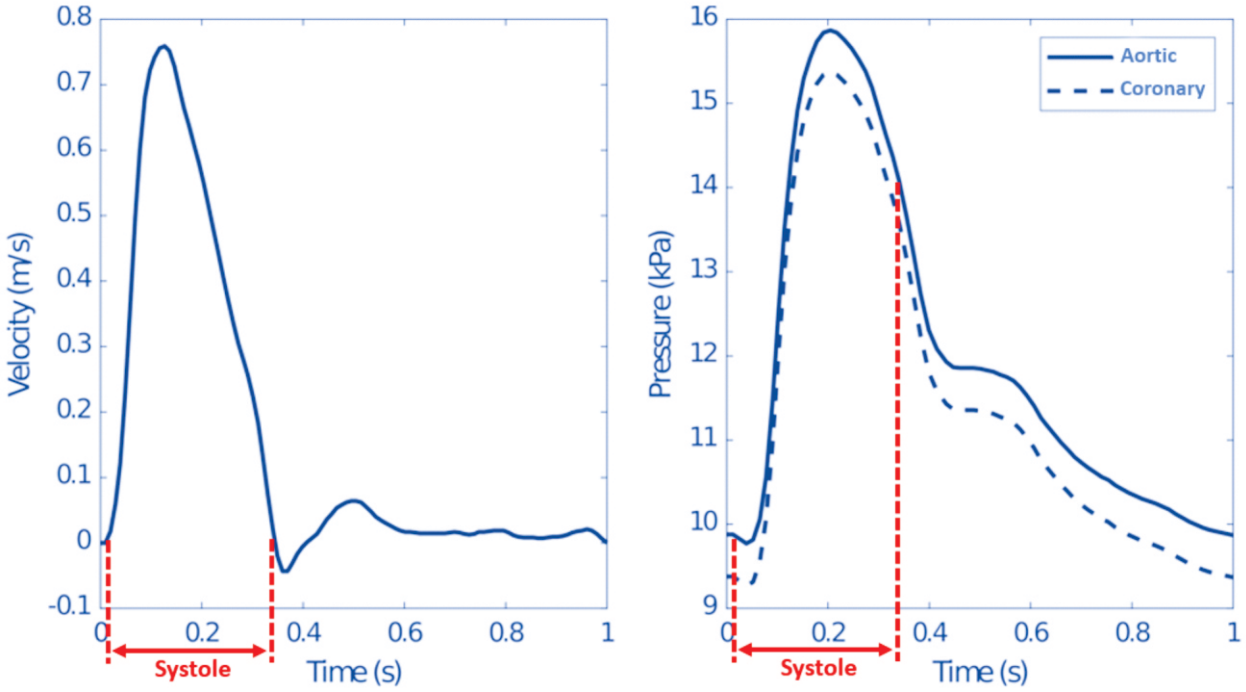
$$\rho_s \frac{\partial^2 d_s}{\partial t^2} = \nabla \cdot \sigma_s \tag{4}$$

where d_s it is the displacement of the deformable body, ρ_s is the density of BHV, e σ_s is the Cauchy stress tensor. Equation 4 was discretized using the finite element method in Ansys Mechanical (ANSYS 2024R1). The equation was integrated in time using the Newmark method, and the discretized equation was linearized and solved using the Newton-Raphson method. The convergence criterion adopted for displacement and force was 10^{-5}.

The coupling between the two defined domains was performed using the System Coupling software (ANSYS 2024R1), in which a residual of 10^{-3} was set for the transfer of displacement and force between the two domains. To smooth the transfer of data between the domains, the Quasi-Newton stabilization method was applied. In both cases, only the systole of the cardiac cycle was calculated, using a time step of 0.15 ms. This was chosen because the oscillations occur only during systole.

As boundary conditions for blood flow, time-dependent physiological curves were adopted, which were uniform across the applied area. At the domain inlet, the velocity profile at the left ventricular outflow tract (Alastruey et al., 2016) was applied, and at the aorta outlet, aortic pressure (Alastruey et al., 2016) was applied. For the outlet of the two coronary arteries, the same aortic pressure was applied, but subtracting 3.75 mmHg. This was performed because the pressure in the coronary arteries follows the same profile as aortic pressure, but at a lower value (Nobari et al., 2013). Figure 2 shows the curves used.

Figure 2: Boundary conditions applied to the fluid domain of computational models.
a) Velocity applied at the inlet of the domain,
b) Pressures applied at the aortic outlet and in the coronary arteries.



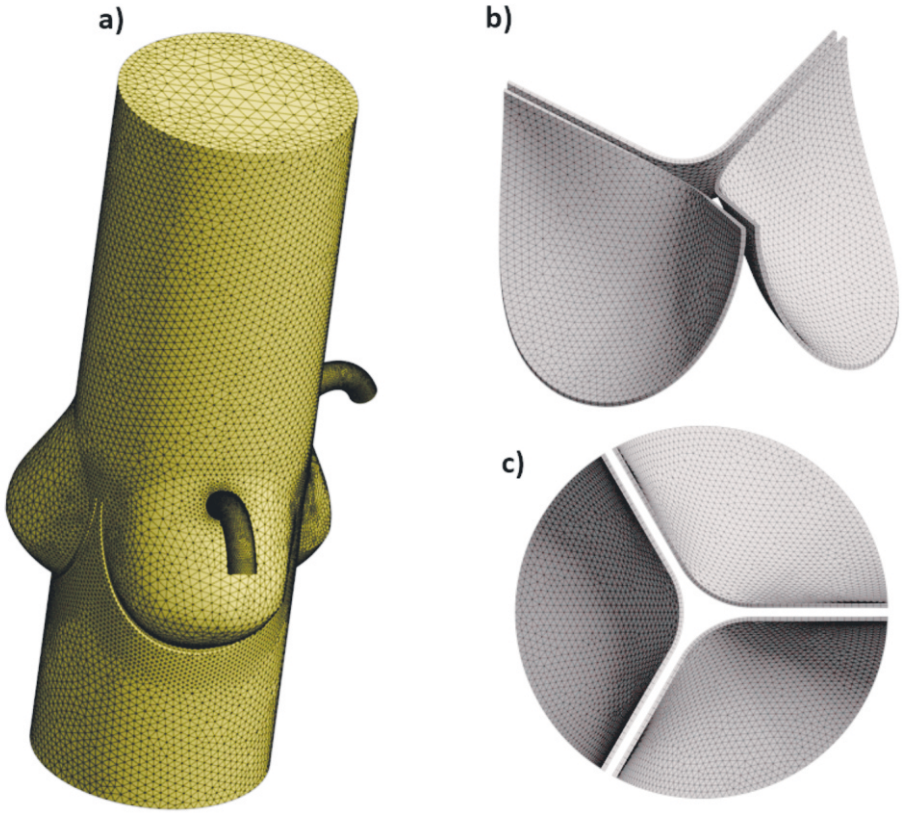
Furthermore, the hydraulic diameter was assumed at the inlet and outlets (25 mm at inlet and aorta outlet, and 3 mm at coronary outlet), with a turbulence intensity of 5% at the inlet and aorta outlet (moderate turbulence) and a turbulence intensity of 1% at the coronary outlets (low turbulence) to calculate the equations of the k-ω SST turbulence model. No-slip conditions were applied to all walls of the domain and at the interface between the blood flow and the BHV.

For the BHV, a fixed support was applied to the attachment surface of the leaflets, since deformation is minimal at that location and does not directly affect the dynamics of the leaflets (Saleeb, Kumar & Thomas, 2013). A coefficient of friction between the leaflets of $9.2x10^{-4}$ was applied to improve the convergence of the computational model, since this coefficient yielded results similar to those obtained in the frictionless case (Dellimore et al., 2013). To model the contact between the leaflets, the Augmented Lagrange method was selected to improve the convergence. In addition, the contact was defined with an offset of 0.5 mm to prevent the leaflets closing completely and to prevent the blood flow mesh from deteriorating in these locations (Bavo et al., 2016).

2.2 Sensitivity tests and validation

To select the mesh, time step, and residuals described in Section 2.1, sensitivity tests were conducted to verify whether the results were independent of these three preprocessing parameters of the computational models. All tests were performed using the DIST case. Figure 3 illustrates the meshes for the two computational domains for the DIST case. The model was validated to verify whether it accurately represented the phenomenon under study. *In vitro* and *in vivo* experimental test results were used for validation. The computational results, both quantitative and qualitative, are in good agreement with the experimental results. For more details, see the study by Costa et al. (2026).

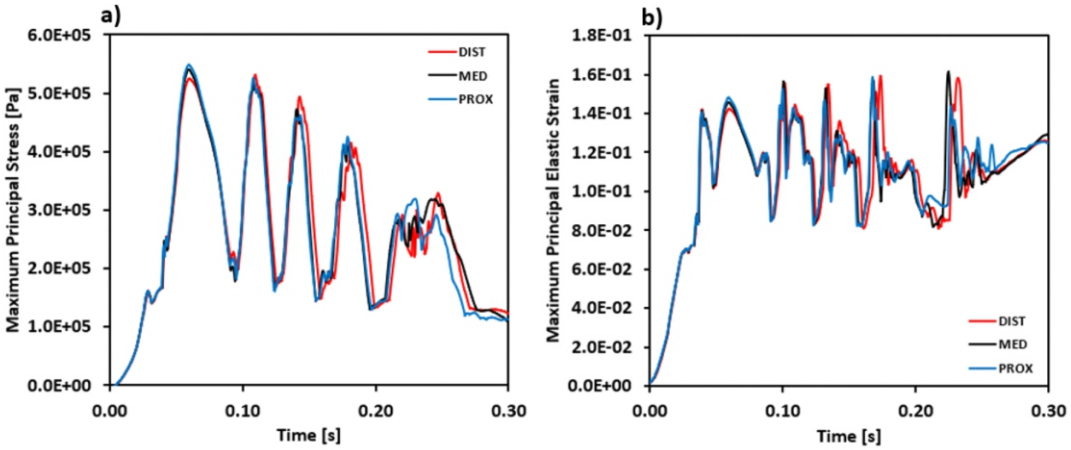
Figure 3: Meshes for both domains of the computational model.
a) Blood flow mesh, b) BHV mesh (isometric view), and c) BHV mesh (superior view).



3. Results

Figure 4 shows the maximum principal stress and the maximum principal elastic strain developed in the BHV leaflets throughout the systolic phase of the cardiac cycle for all three cases.

Figure 4: a) Maximum principal stress,
b) Maximum principal elastic strain developed in the BHV throughout systole.



First, it can be observed that both quantities exhibit an oscillatory behavior throughout the systolic period. Observing the oscillations of the leaflets shown in the study by Costa et al., (2026), it can be seen that the peaks and troughs of stress and strain occur at the same moments as the peaks and troughs of the leaflet oscillations. This oscillatory pattern for stress and strain was also observed in other studies (Johnson et al., 2020; Johnson et al., 2022; Ma et al., 2022). The mean values for stress in each case are: DIST: 0.2594 MPa, MED: 0.2587 MPa, PROX: 0.2540 MPa. The mean values for strain in each case are: DIST: 0.1077, MED: 0.1067, PROX: 0.1079. These values are also in the same order of magnitude as those reported in other studies in the literature (Cai et al., 2021; Emendi et al., 2021; Ghosh et al., 2018; Morany et al., 2023). Furthermore, it can be observed that, in all cases, the stresses and strains did not show any significant difference except at the end of systole, i.e., after 0.20 seconds. The maximum stress values occurred at 0.0603 s: DIST: 0.524 MPa, MED: 0.539 MPa, PROX: 0.547 MPa. The maximum strains, on the other hand, occurred at 0.233 s for the DIST case, at 0.225 s for the MED case, and at 0.168 s for the PROX case, with the following values: DIST: 0.156, MED: 0.161, PROX: 0.158.

Figures 5 and 6 illustrate the evolution of the maximum principal stress and the maximum principal elastic strain fields, respectively, along the BHV leaflet during one oscillation cycle for all cases.

Figure 5: Field of maximum principal stress along an oscillation cycle for the DIST, MED, and PROX cases.

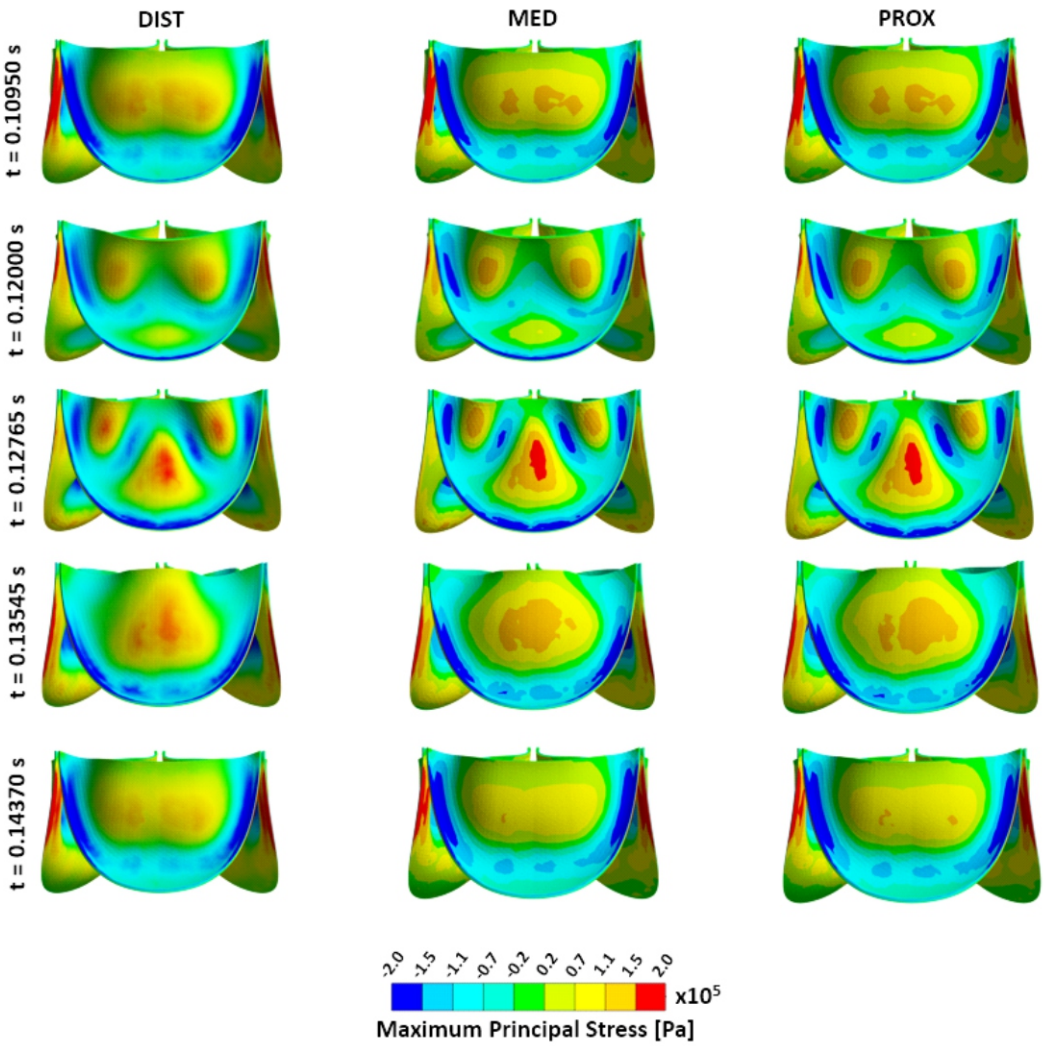
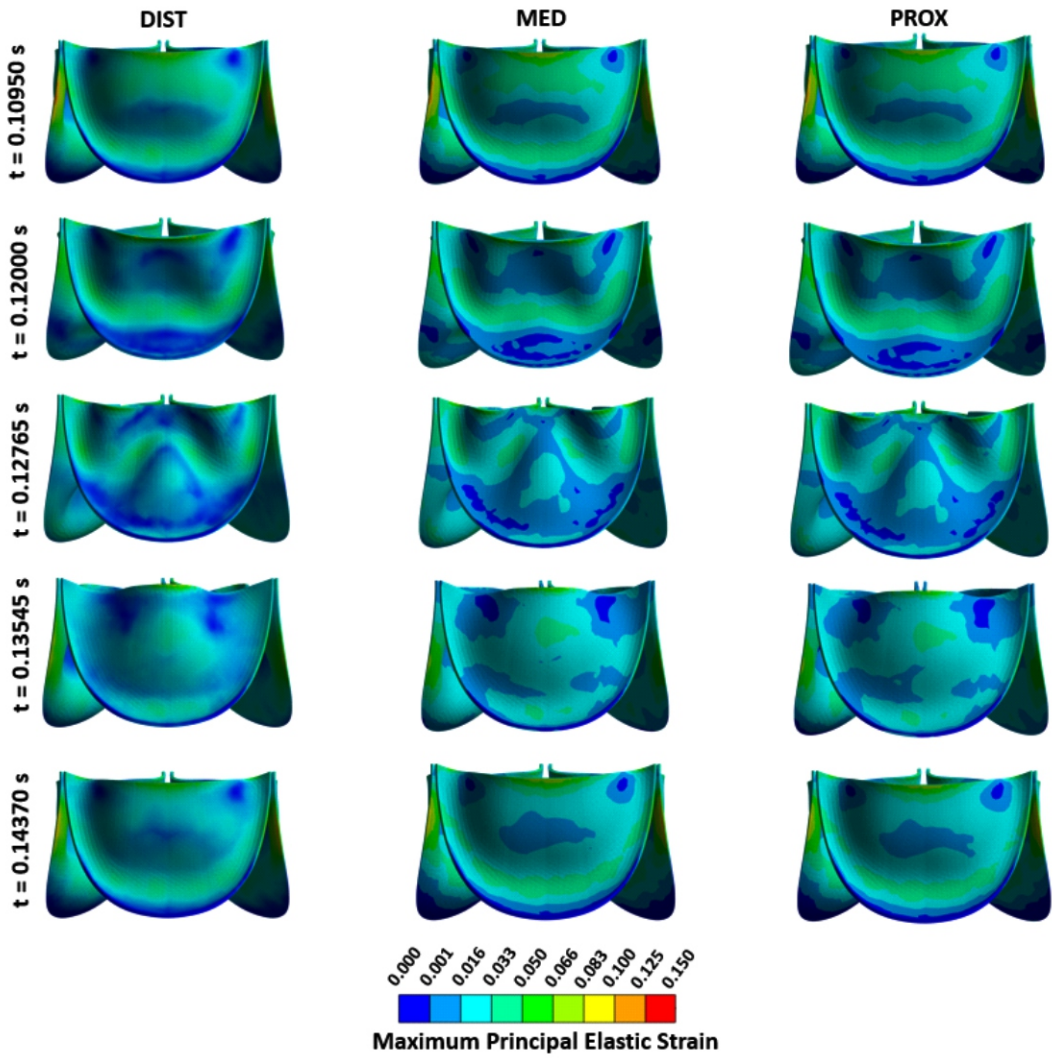


Figure 6: Field of maximum principal elastic strain over an oscillation cycle for the DIST, MED, and PROX cases.

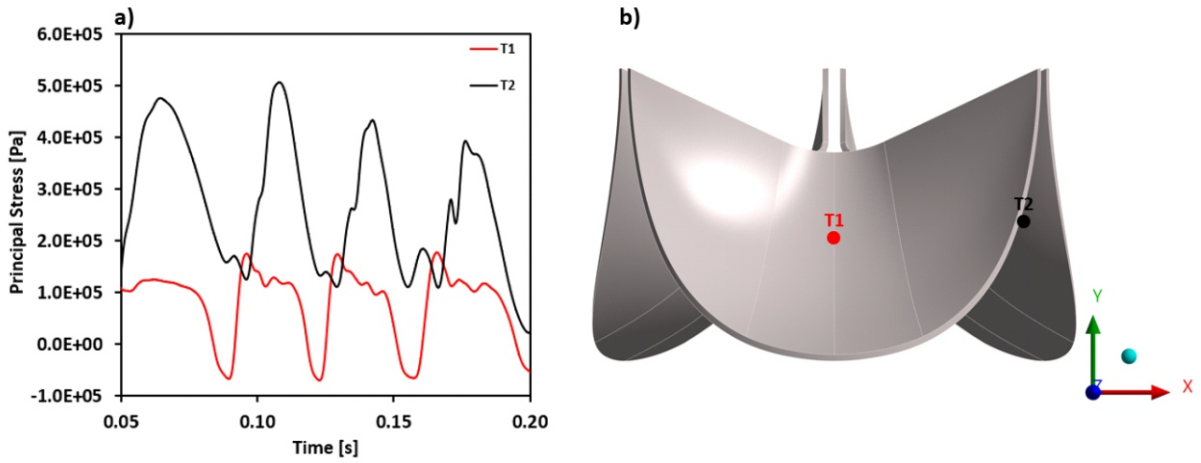


Both figures illustrate the time-varying behavior of stress and strain throughout the oscillation of the leaflet. It can be observed that as curvatures appear in the leaflets due to the propagation of the oscillation, the locations where the maximum stress and strain values occur change over time, thus confirming the behavior observed in Fig. 4. This behavior was also observed in the study by Costa et al., (2025b) and Morany et al., (2023).

The highest tensile stresses were observed in the center of the leaflet and in the commissural region on the ventricular side of the leaflets. The highest compression values, however, were observed along the attachment curve on the aortic side of the leaflet. With regard to deformation, the highest values were observed at the free edge of the leaflet, in the commissural region on both the aortic and ventricular sides of the leaflet, and at certain moments, in the belly region of the leaflets.

Figure 7 shows the principal stress at two points on the leaflet for the MED case: one point at the center and another at the ventricular-side commissure.

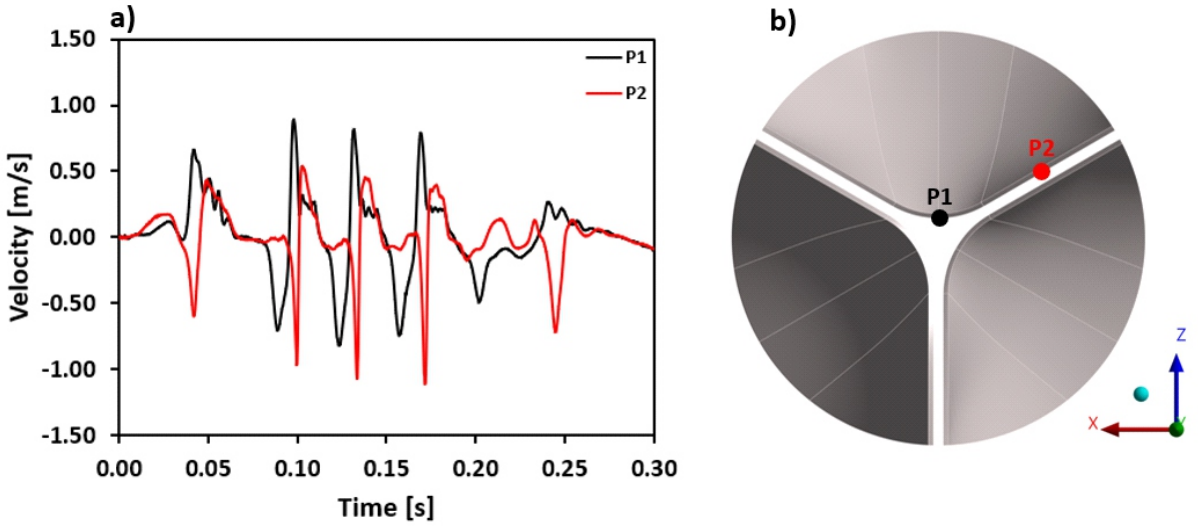
Figure 7: a) Main stress at two points on the leaflets during the first four oscillations of the leaflet, b) Indication of the two points used to measure the stress for the MED case.



A first important observation is that the stress level in the commissural region was consistently higher than that observed at the central portion of the leaflet. The maximum stress measured in the commissural region was 0.506 MPa, while that in the center of the leaflet was 0.166 MPa, approximately three times higher. Furthermore, it was observed that the center of the leaflets exhibited a high-frequency and low-amplitude alternating force component during the peaks, unlike the commissural region, which exhibited only a predominantly low-frequency and high-amplitude component. Finally, it can be seen that the stresses presented a phase difference, with an average difference between the peaks of 0.012 seconds. This tendency in the results confirms what is shown in Fig. 5.

Figure 8 shows the velocity in the z-direction of two points located along the free edge of the leaflet for the DIST case.

Figure 8: a) Velocity in the z-direction throughout systole for two points located at the free edge of the leaflet for the DIST case, b) The position of both points.



It can be observed that the velocities at the two points are out of phase. When point P1 is moving toward the peak of the oscillation, reaching a positive velocity, point P2 has a velocity in the opposite direction, a negative velocity, indicating that point P2 is moving toward the trough. After some time, point P2 reaches a positive velocity and begins to move toward the peak oscillation value. This behavior repeats for each oscillation of the leaflet, showing that each point on the valve oscillates with a phase difference relative to the other points on the leaflet. Finally, it can be seen that the velocity of point P1 has a nearly symmetric distribution about the zero-velocity axis. However, point P2 exhibits a more pronounced acceleration when the point is moving toward a trough, i.e., at a negative velocity, since the change in velocity is more abrupt.

4. Discussion

As shown in Fig. 4, it was observed that the maximum principal stress and maximum principal elastic strain exhibits an oscillatory behavior, in which the stress peaks and troughs coincide with the peaks and troughs of the leaflet oscillation. The results of radial displacements are presented in the study by Costa et al. (2026). Therefore, it can be suggested that the oscillations of the leaflets induce this oscillatory behavior of structural quantities. Costa et al. (2024) conducted a computational study to evaluate the impact of leaflet thickness and protrusion height on the oscillation parameters, such as frequency and amplitude, of the leaflets. The authors observed that the valve with the lowest protrusion height studied did not exhibit leaflet fluttering and, consequently, did not develop oscillatory behavior for either the flow quantities or the solid-domain quantities. Thus, these two findings may suggest a close relationship between the two phenomena. Oscillatory behavior in stress and strain has also been observed in other studies when leaflet fluttering was developed (Johnson et al., 2020; Johnson et al., 2022; Ma et al., 2022).

This explanation may also be related to the similarity in stress and strain for the DIST, MED, and PROX cases, as shown in Fig. 4. According to the study by Costa et al. (2026), the radial displacements in the three cases were similar, with differences observed only at the end of systole (> 0.2 s), and this was also observed in the stress and strain. This oscillatory behavior of the stress, as discussed in the study by Costa et al. (2024), introduces an additional alternating stress component into the stress distribution of the leaflets. Consequently, the BHV will be more susceptible to the mechanisms associated with fatigue, one of the main mechanisms responsible for the limited lifespan of these valves.

Figures 4 and 5 showed that the highest stress and strain locations are dynamic throughout the entire oscillation of the leaflet, indicating that at each particular moment, the maximum values occur at different locations. Furthermore, the highest stresses were observed in the center of the leaflet and in the commissural region on the ventricular side of the leaflets. As a result, these regions may be more susceptible to the progression of fatigue.

Costa et al. (2025a) conducted a computational study to evaluate parameters based on wall shear stress, such as, residence time (RRT), oscillatory shear index (OSI), and endothelial cell activation potential (ECAP), since Tsolaki et al. (2023) observed that these parameters may be associated with higher concentrations of calcium deposits. Costa et al. (2025a) showed that the same regions of high stress indicated in Fig. 4 also exhibit higher RRT, OSI, and ECAP values, i.e., higher calcification and a higher potential for thrombus formation. Thus, it can be suggested that these regions may

experience degradation associated with the main mechanisms that restrict the lifespan of biological valves. Finally, the stress and strain distributions did not show significant differences among the three cases studied, highlighting that the dynamics of the leaflets may have a significant influence on these quantities.

Analyzing Fig. 7, it was possible to observe the principal stress at the points that exhibited the highest stress values for the first four oscillations of the BHV leaflet for the MED case (representative of all cases, since the DIST and PROX cases also exhibited this behavior). As noted, the commissural region on the ventricular side of the leaflet showed the highest values in the computational domain. Thus, it can be stated that, although this region exhibits an oscillatory stress, contributing to an alternating stress component, the average stress level is the most critical. These results are consistent with studies in the literature that have observed more tearing of the leaflets specifically in the commissural region (Siddiqui, Abraham & Butany, 2009).

Observing point T1, which represents the center of the leaflet, a higher-frequency component with lower amplitude developed in addition to the high-amplitude and low-frequency component of the alternating stress. This may also suggest increased fatigue, given that there are two components of alternating stress. Therefore, a fatigue analysis must be performed in a way that takes these two components into account, i.e., a high-cyclic fatigue analysis in conjunction with a low-cyclic fatigue analysis (Yue et al., 2025). Additionally, the two stresses exhibited a phase difference, with the peak in the commissural region occurring after the peak at the center of the leaflet. This may indicate that the leaflet fluttering also propagates in the circumferential direction. The quantitative values are in the same order of magnitude as those observed in other studies (Cai et al., 2021; Emendi et al., 2021; Ghosh et al., 2018; Morany et al., 2023).

Finally, to examine the circumferential oscillation of the leaflets more precisely, Fig. 8 shows the progression of velocity at two points along the free edge of the leaflet for the DIST case. It can be observed that the velocities at both points exhibit a phase difference: while P1 is approaching a peak with a positive velocity, point P2 is approaching a trough with a negative velocity. This confirms that the oscillation propagates not only along the length of the leaflet, but also in the circumferential direction. This supports the behavior observed in Fig. 7. The study by Costa et al. (2025a) and by Costa et al. (2026) showed the propagation of this component of the oscillation only in a qualitative way. This result makes it clear that the oscillations propagated in these two preferred directions.

A full validation of the influence of coronary ostia positioning on valvular leaflet fluttering demands a critical assessment of the limitations inherent to the developed computational model. First, the analysis was confined to the systolic period, making it advisable to extend the calculations to subsequent complete cardiac cycle. Regarding mechanical properties, two simplifying assumptions stand out: the rigidity of the vascular walls (aorta, coronary arteries and sinuses of Valsalva), which, if replaced by elastic behavior, would attenuate the energy of vortices and recirculations (Sadipour et al., 2020); and the omission of the leaflets' tissue anisotropy, whose collagen and elastin fiber architecture confers upon them dynamic stability during systole (De Hart et al., 2004), potentially suppressing the recorded oscillation amplitudes and the stresses values. Furthermore, Pil et al. (2025) showed that the velocity profile at the left ventricular outflow tract affects the dynamics of the leaflets, indicating that considering only a uniform time-dependent boundary condition in the inlet is not entirely appropriate for this analysis. Despite these limitations, the results presented here still provide meaningful insight into how ostial positioning influences leaflet behavior.

Conclusion

This study presents the results for the solid domain of the Costa et al. (2026) study. A computational FSI analysis was performed to examine the impact of the coronary position on leaflet oscillations, with a focus on the development of stress and strain throughout the domain.

The results suggest that the oscillation of the leaflets affected the distribution of stress and strain along the leaflets. The locations of high stress and strain varied at each instant during the oscillation. However, the position of the coronary arteries did not affect the distribution of stress and strain, as it was similar for all three cases, DIST, MED, and PROX. Additionally, the commissural region on the ventricular side of the leaflet exhibited the highest levels of stress, and the center of the leaflet exhibited stress oscillations with two distinct features: one with high amplitude and low frequency, and the other with low amplitude and high frequency. Finally, with the velocity measured at two points along the free edge, it was observed that the oscillation occurs not only along the length of the leaflet, but also in the circumferential direction.

Funding

This study was funded by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (APQ-02218-25) and by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-312648/2023-5). This study was also financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The authors would like to express our gratitude to Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (APQ-02218-25) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-312648/2023-5) for their financial support in this work. This study was also financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.



REFERENCES

Abbasi, M., & Azadani, A. N. (2020). A geometry optimization framework for transcatheter heart valve leaflet design. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 102, 103491.

Aboelkassem, Y., Savic, D., & Campbell, S. G. (2015). Mathematical modeling of aortic valve dynamics during systole. Journal of theoretical biology, 365, 280-288.

Alastruey, J., Xiao, N., Fok, H., Schaeffter, T., & Figueroa, C. A. (2016). On the impact of modelling assumptions in multi-scale, subject-specific models of aortic haemodynamics. Journal of The Royal Society Interface, 13(119), 20160073.

AlAttar, A., Gkouti, E., & Czekanski, A. (2023). Multistep deformation of helical fiber electrospun scaffold toward cardiac patches development. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 147, 106157.

Avelar, A. H. D. F., Canestri, J. A., Bim, C., Silva, M. G., Huebner, R., & Pinotti, M. (2017). Quantification and analysis of leaflet flutter on biological prosthetic cardiac valves. Artificial Organs, 41(9), 835-844.

Bavo, A. M., Rocatello, G., Iannaccone, F., Degroote, J., Vierendeels, J., & Segers, P. (2016). Fluid-structure interaction simulation of prosthetic aortic valves: comparison between immersed boundary and arbitrary Lagrangian-Eulerian techniques for the mesh representation. PloS one, 11(4), e0154517.

Bornemann, K. M., & Obrist, D. (2024). Instability mechanisms initiating laminar–turbulent transition past bioprosthetic aortic valves. Journal of Fluid Mechanics, 985, A41.

Borowski, F., Sämann, M., Pfensig, S., Wüstenhagen, C., Ott, R., Kaule, S., ... & Stiehm, M. (2018). Fluid-structure interaction of heart valve dynamics in comparison to finite-element analysis. Current Directions in Biomedical Engineering, 4(1), 259-262.

Cai, L., Zhang, R., Li, Y., Zhu, G., Ma, X., Wang, Y., ... & Gao, H. (2021). The comparison of different constitutive laws and fiber architectures for the aortic valve on fluid–structure interaction simulation. Frontiers in Physiology, 12, 682893.

Cao, K., Atkins, S. K., McNally, A., Liu, J., & Sucosky, P. (2017). Simulations of morphotype-dependent hemodynamics in non-dilated bicuspid aortic valve aortas. Journal of biomechanics, 50, 63-70.

Chen, Y., & Luo, H. (2020). Pressure distribution over the leaflets and effect of bending stiffness on fluid–structure interaction of the aortic valve. Journal of Fluid Mechanics, 883, A52.

Costa, M. C. B., Goncalves, S. D. F., Fleury, J. V. C., Silva, M. L. F. D., Huebner, R., & Avelar, A. H. D. F. (2024). Computational fluid–structure analysis of the impact of leaflet thickness and protrusion height on the flutter phenomenon in aortic valve bioprostheses. Meccanica, 59(5), 685-701.

Costa, M. C. B., de Freitas Gonçalves, S., da Silva, M. L. F., Fleury, J. V. C., Huebner, R., & de Freitas Avelar, A. H. (2025a). The influence of leaflet flutter of the aortic valve bioprostheses on leaflet calcification and endothelial activation. Computers in biology and medicine, 187, 109765.

Costa, M. C. B., de Freitas Gonçalves, S., Fleury, J. V. C., da Silva, M. L. F., Huebner, R., & de Freitas Avelar, A. H. (2025b). Comparison between the fluid–structure interaction approach and the finite element method approach to analyze the leaflet flutter in bioprosthetic aortic valve. Journal of Biomechanics, 181, 112532.

Costa, M. C. B., de Freitas Gonçalves, S., da Silva, M. L. F., & Huebner, R. (2026). The influence of coronary ostia positioning on leaflet fluttering in biological heart valve prostheses investigated through a fluid–structure computational model. International Journal of Engineering Science, 225, 104551.

Dellimore, K., Kemp, I., Scheffer, C., Weich, H., & Doubell, A. (2013). The influence of leaflet skin friction and stiffness on the performance of bioprosthetic aortic valves. Australasian physical & engineering sciences in medicine, 36(4), 473-486.

Dodge Jr, J. T., Brown, B. G., Bolson, E. L., & Dodge, H. T. (1992). Lumen diameter of normal human coronary arteries. Influence of age, sex, anatomic variation, and left ventricular hypertrophy or dilation. Circulation, 86(1), 232-246.

Emendi, M., Sturla, F., Ghosh, R. P., Bianchi, M., Piatti, F., Pluchinotta, F. R., ... & Bluestein, D. (2021). Patient-specific bicuspid aortic valve biomechanics: a magnetic resonance imaging integrated fluid–structure interaction approach. Annals of biomedical engineering, 49(2), 627-641.

Evangelista, R. A. A., Pires, A. L. R., & Nogueira, B. V. (2025). A chronological history of heart valve prostheses to offer perspectives of their limitations. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13, 1533421.

Gilmanov, A., Barker, A., Stolarski, H., & Sotiropoulos, F. (2019). Image-guided fluid-structure interaction simulation of transvalvular hemodynamics: Quantifying the effects of varying aortic valve leaflet thickness. Fluids, 4(3), 119.

Ghosh, R. P., Marom, G., Rotman, O. M., Slepian, M. J., Prabhakar, S., Horner, M., & Bluestein, D. (2018). Comparative Fluid–Structure Interaction Analysis of Polymeric Transcatheter and Surgical Aortic Valves' Hemodynamics and Structural Mechanics. Journal of biomechanical engineering, 140(12), 121002.

Guo, G., Jin, L., Wu, B., He, H., Yang, F., Xu, L., ... & Wang, Y. (2021). A method for simultaneously crosslinking and functionalizing extracellular matrix-based biomaterials as bioprosthetic heart valves with enhanced endothelialization and reduced inflammation. Acta Biomaterialia, 119, 89-100.

Issa, R. I. (1986). Solution of the implicitly discretised fluid flow equations by operator-splitting. Journal of computational physics, 62(1), 40-65.

Jahren, S. E., Vennemann, B., Bornemann, K. M., Rösgen, T., & Obrist, D. (2026). Modes of leaflet fluttering: quantitative characterization of a bovine bioprosthetic heart valve. Annals of biomedical engineering, 54(2), 410-421.

Johnson, E. L., Wu, M. C., Xu, F., Wiese, N. M., Rajanna, M. R., Herrema, A. J., ... & Hsu, M. C. (2020). Thinner biological tissues induce leaflet flutter in aortic heart valve replacements. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(32), 19007-19016.

Johnson, E. L., Rajanna, M. R., Yang, C. H., & Hsu, M. C. (2022). Effects of membrane and flexural stiffnesses on aortic valve dynamics: identifying the mechanics of leaflet flutter in thinner biological tissues. Forces in mechanics, 6, 100053.

Kadel, S. (2020). Computational assessment of aortic valve function and mechanics under hypertension (Master's thesis, Wright State University).

Kivi, A. R., Sedaghatizadeh, N., Cazzolato, B. S., Zander, A. C., Nelson, A. J., Roberts-Thomson, R., ... & Arjomandi, M. (2020). Hemodynamics of a stenosed aortic valve: effects of the geometry of the sinuses and the positions of the coronary ostia. International Journal of Mechanical Sciences, 188, 106015.

Kastellanos, S., Aznaouridis, K., Vlachopoulos, C., Tsiamis, E., Oikonomou, E., & Tousoulis, D. (2018). Overview of coronary artery variants, aberrations and anomalies. World journal of cardiology, 10(10), 127.

Lee, J. H., Scotten, L. N., Hunt, R., Caranasos, T. G., Vavalle, J. P., & Griffith, B. E. (2021). Bioprosthetic aortic valve diameter and thickness are directly related to leaflet fluttering: results from a combined experimental and computational modeling study. JTCVS open, 6, 60-81.

Luraghi, G., Migliavacca, F., Chiastra, C., Rossi, A., Reimers, B., Stefanini, G. G., & Matas, J. F. R. (2019). Does clinical data quality affect fluid-structure interaction simulations of patient-specific stenotic aortic valve models?. Journal of Biomechanics, 94, 202-210.

Ma, X., Gao, B., Tao, L., Ding, J., Li, S., Qiao, A., & Chang, Y. (2022). Hemodynamic study of the effect of the geometric height of leaflets on the performance of the aortic valve under aortic valve reconstruction. Journal of thoracic disease, 14(5), 1515.

Maier, S. R. D. O., Fernandes, P. A., & Dessotte, C. A. M. (2023). Health-related quality of life of patients submitted to correction of heart valve diseases. ABCS Health Sciences, 48.

Marinval, N., Morenc, M., Labour, M. N., Samotus, A., Mzyk, A., Ollivier, V., ... & Hlawaty, H. (2018). Fucoidan/VEGF-based surface modification of decellularized pulmonary heart valve improves the antithrombotic and re-endothelialization potential of bioprostheses. Biomaterials, 172, 14-29.

Morany, A., Lavon, K., Gomez Bardon, R., Kovarovic, B., Hamdan, A., Bluestein, D., & Haj-Ali, R. (2023). Fluid–structure interaction modeling of compliant aortic valves using the lattice Boltzmann CFD and FEM methods. Biomechanics and modeling in mechanobiology, 22(3), 837-850.

Nobari, S., Mongrain, R., Leask, R., & Cartier, R. (2013). The effect of aortic wall and aortic leaflet stiffening on coronary hemodynamic: a fluid–structure interaction study. Medical & biological engineering & computing, 51(8), 923-936.



Okada, A., Beckmann, E., Rocher, E. E., Fukui, M., Wang, C., Phichaphop, A., ... & Bapat, V. N. (2024). Preprocedural computed tomography planning for surgical aortic valve replacement. The Annals of Thoracic Surgery, 117(6), 1154-1162.

Pil, N., Kuchumov, A. G., Nemavhola, F., Pandelani, T., & Ha, T. S. (2025). Mechano-electrical-fluid interaction left-ventricle model for numerical evaluation of aortic valve hemodynamics. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13, 1713023.

Rhie, C. M., & Chow, W. L. (1983). Numerical study of the turbulent flow past an airfoil with trailing edge separation. AIAA journal, 21(11), 1525-1532.

Roman, M. J., Devereux, R. B., Kramer-Fox, R., & O'Loughlin, J. (1989). Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults. The American journal of cardiology, 64(8), 507-512.

Sadipour, M., Hanafizadeh, P., Sadeghy, K., & Sattari, A. (2020). Effect of aortic wall deformation with healthy and calcified annulus on hemodynamic performance of implanted On-X valve. Cardiovascular Engineering and Technology, 11(2), 141-161.

Sadrabadi, M. S., Hedayat, M., Borazjani, I., & Arzani, A. (2021). Fluid-structure coupled biotransport processes in aortic valve disease. Journal of Biomechanics, 117, 110239.

Saleeb, A. F., Kumar, A., & Thomas, V. S. (2013). The important roles of tissue anisotropy and tissue-to-tissue contact on the dynamical behavior of a symmetric tri-leaflet valve during multiple cardiac pressure cycles. Medical engineering & physics, 35(1), 23-35.

Siddiqui, R. F., Abraham, J. R., & Butany, J. (2009). Bioprosthetic heart valves: modes of failure. Histopathology, 55(2), 135-144.

Sigüenza, J., Pott, D., Mendez, S., Sonntag, S. J., Kaufmann, T. A., Steinseifer, U., & Nicoud, F. (2018). Fluid-structure interaction of a pulsatile flow with an aortic valve model: a combined experimental and numerical study. International journal for numerical methods in biomedical engineering, 34(4), e2945.

Singh, R., Strom, J. A., Ondrovic, L., Joseph, B., & VanAuker, M. D. (2008). Age-related changes in the aortic valve affect leaflet stress distributions: implications for aortic valve degeneration. Journal of Heart Valve Disease, 17(3), 290.

Tango, A. M. (2020). Fluid-structure interaction analysis of the aortic valve in young healthy, ageing and post treatment conditions (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).

Tsolaki, E., Corso, P., Zboray, R., Avaro, J., Appel, C., Liebi, M., ... & Herrmann, I. K. (2023). Multiscale multimodal characterization and simulation of structural alterations in failed bioprosthetic heart valves. Acta Biomaterialia, 169, 138-154.

Xu, F., Johnson, E. L., Wang, C., Jafari, A., Yang, C. H., Sacks, M. S., ... & Hsu, M. C. (2021). Computational investigation of left ventricular hemodynamics following bioprosthetic aortic and mitral valve replacement. Mechanics Research Communications, 112, 103604.

Yu, T., Chen, X., Zhuang, W., Tian, Y., Liang, Z., Kong, Q., ... & Wang, Y. (2021). Nonglutaraldehyde treated porcine pericardium with good biocompatibility, reduced calcification and improved Anti-coagulation for bioprosthetic heart valve applications. Chemical Engineering Journal, 414, 128900.

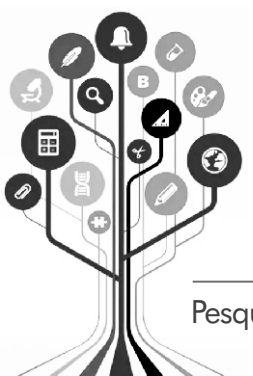
Yue, P., Zhou, C., Zhang, J., Zhang, X., Du, X., & Liu, P. (2025). A comparative study on combined high and low cycle fatigue life prediction model considering loading interaction. International Journal of Damage Mechanics, 34(8), 1217-1232.

Zhou, J., Wu, Y., Chen, L., Li, T., Xiong, Y., & Chen, Y. (2024). Numerical Simulation Studies on the Design of the Prosthetic Heart Valves Belly Curves. Fluids, 9(9), 209.

Zhu, Y., Wilkerson, R. J., Pandya, P. K., Mullis, D. M., Wu, C. A., Madira, S., ... & Woo, Y. J. (2023). Biomechanical engineering analysis of pulmonary valve leaflet hemodynamics and kinematics in the Ross procedure. Journal of Biomechanical Engineering, 145(1), 011005.

SEÇÃO II

Ciências Agrárias



DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_7

QUALITY OF MEAT AND BONE MEAL IN POULTRY NUTRITION: A THEORETICAL ANALYSIS OF PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS AND PRACTICAL APPLICABILITY

Lilia Basilio de Caland
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
liliabasilio@uern.br

Joelma Gleciane Gomes do Nascimento Andrade
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
joelmaandrade488@gmail.com

Ellen Gomes Silva
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
ellengomes0202@gmail.com

Natália Sabrina de Lima Nunes
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
nataliasabrina60@gmail.com

Gerard Vicente Dantas de Medeiros Filho
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
gerardfilho2004@gmail.com

Jhonatan Guilherme Felisberto da Silva
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN
jhonatan27832@gmail.com

Maria de Fátima Vitória de Moura
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
fatima.vitoria.moura@ufrn.br

ABSTRACT

The mounting global demand for animal protein underscores the significance of efficient production systems, with the Brazilian poultry farming sector emerging as a prominent exemplar. In this context, proper poultry nutrition is essential to ensure optimal performance and animal health. Meat and bone meal (MBM) has been identified as a promising nutritional alternative due to its high protein and essential mineral content. The objective of this review is twofold: first, to examine the main physicochemical parameters that determine MBM quality, and second, to evaluate its applicability in poultry nutrition. Key aspects discussed include moisture content, crude protein levels, and the calcium-to-phosphorus ratio, as well as the critical need for stringent quality control throughout the production chain. The findings indicate that, when produced in accordance with hygienic and regulatory standards, MBM can contribute to both the health of poultry and the sustainability of the livestock industry, thereby promoting more responsible and efficient production practices.

Keywords:
Meat and bone meal; Poultry nutrition; Feed quality; Physicochemical parameters; Sustainability.

RESUMO

Diante da crescente demanda global por proteína animal, com foco na avicultura brasileira, que se destaca como um dos principais setores produtivos. Nesse contexto, a nutrição adequada das aves torna-se um fator essencial para garantir desempenho zootécnico e saúde. A farinha de carne e ossos (FCO) surge como uma alternativa nutricional viável, destacando-se por seu elevado teor de proteínas e minerais essenciais. Este artigo tem como objetivo revisar os principais parâmetros físico-químicos que determinam a qualidade da FCO e discutir sua aplicabilidade na nutrição avícola. A discussão inclui a caracterização dos principais parâmetros de qualidade — como umidade, proteína bruta e a relação cálcio-fósforo — além de destacar a importância de um controle rigoroso ao longo da cadeia produtiva. Por fim, conclui-se que, o uso da farinha de carne e ossos, sob condições higiênicas e normativas, pode beneficiar tanto a saúde das aves quanto a sustentabilidade na indústria agropecuária, contribuindo para uma produção mais responsável e eficiente.

Palavras-chave:
Farinha de carne e ossos; Nutrição de aves; Qualidade da alimentação; Parâmetros físico-químicos; Sustentabilidade.

INTRODUCTION

The production of animal protein has undergone substantial expansion in recent decades, a development that can be attributed to the increasing global demand for animal-based foods and the advancement of the agricultural sector. In Brazil, poultry farming is a particularly dynamic activity within the agribusiness sector, with the country being a leading producer and exporter of chicken meat (Pessôa et al., 2012). It is imperative to acknowledge the pivotal function of poultry nutrition3 in fostering this growth. This is due to the fact that it exerts a direct influence on various pivotal aspects, including productivity, animal health, and the economic viability of the sector.

Among the ingredients employed in feed formulation, meat and bone meal (MBM) emerges as a promising alternative, offering a high protein content and essential minerals at a relatively lower cost compared to other protein sources, such as soybean meal and dicalcium phosphate, as noted by Scheuermann et al. (2007, apud Matias et al., 2012).

Meat and bone meal (MBM) is derived from the thermal and mechanical processing of slaughterhouse by-products, comprising bones, cartilage, tissues, and fats from slaughtered animals (Butolo, 2002). When administered in an appropriate manner, this by-product can serve as a valuable ingredient in poultry feed, providing highly digestible proteins and essential minerals such as calcium and phosphorus. These minerals are fundamental for bone formation and energy metabolism in birds (Bellaver & Zanotto, 2004, as cited in Tiritan, 2022). However, the implementation of MBM necessitates rigorous quality control measures, as its composition is susceptible to variation due to the utilization of diverse raw materials and processing methodologies. This variability has the potential to influence various aspects of poultry production, including nutrient absorption, zootechnical performance, and food safety in products intended for human consumption. This assertion is supported by the findings of Albino and Silva (1996, as cited in Matias et al., 2012).

In addition to its nutritional importance, the incorporation of meat and bone meal (MBM) into poultry diets is noteworthy from environmental and economic standpoints. The reuse of slaughterhouse by-products for feed ingredient production has been demonstrated to reduce environmental impact by minimizing waste and the need for improper disposal of organic materials (ABRA, 2020). Research indicates that the conversion of these residues into nutritionally rich products has the dual benefits of reducing environmental pollution and contributing to the circular economy within the livestock industry, thereby promoting better utilization of available resources (Scapim et al., 2003 apud Matias et al., 2012). Consequently, the incorporation of MBM in animal feed is congruent with principles of sustainable and responsible production practices.

Despite its benefits, the quality of meat and bone meal (MBM) is influenced by several factors, such as moisture content, acidity index, ether extract, and mineral composition. Excessive moisture can promote microbial growth and accelerate the deterioration of the meal, compromising its stability and microbiological safety (Butolo, 2002). Similarly, a high acidity index may indicate lipid degradation, affecting the palatability and acceptance of the feed by poultry. Strict control of these parameters is essential to ensure compliance with regulatory standards established by the Ministry of Agriculture and Livestock (MAPA), which sets guidelines for the composition and quality of ingredients used in animal nutrition in Brazil (Brasil, 2017 apud Tiritan, 2022).

Another important aspect is the calcium-to-phosphorus ratio in meat and bone meal (MBM), which must be carefully monitored, as an unbalanced intake of these minerals can impair bone formation in poultry and affect their growth rate. According to Moretti (2022 apud Tiritan, 2022), MBM should have a maximum calcium-to-phosphorus ratio of 2.2:1, ensuring an adequate mineral supply without compromising intestinal absorption. Deviations from this ratio can lead to phosphorus deficiency or calcium excess, negatively impacting feed conversion and the productive performance of the birds.

In this context, this article aims to review the main physicochemical parameters that determine the quality of meat and bone meal (MBM) and its applicability in poultry nutrition. To achieve this, the study will address the analytical methods used for the characterization of this ingredient, as well as the challenges and benefits associated with its inclusion in poultry diets. This review seeks to provide insights that support the improvement of MBM production practices and quality control, ensuring its efficiency, safety, and contribution to a more sustainable production model.

2. DEVELOPMENT

2.1. Meat and Bone Meal (MBM)

According to the Brazilian Association of Animal Recycling (ABRA, 2020), inedible animal by-products, such as meat scraps, bones, and fats—mainly from cattle, pigs, and poultry—undergo a series of processes including cooking, pressing, drying, and grinding, with the objective of transforming them into meal, a fine powder used as an ingredient in animal feed. The objective of the animal-origin meal (AOM) process is twofold: first, to extract excess water, and second, to mince and grind the inedible slaughter residues. The execution of this procedure can be conducted with or without the application of pressure in digesters over varying durations. The resulting solid residue must then be ground into meal, meeting various granulometry specifications. As a result, the fat must undergo drainage, pressing, or centrifugation (Bellaver et al., 2005). The final product's color is contingent upon the quantity of material utilized and the duration of the processing time.

Meat and bone meal is characterized by its high protein content, which is rich in essential minerals such as calcium and phosphorus, in addition to a significant amount of fat. The production process entails subjecting the residues to cooking in digesters, a process that eliminates pathogens and separates the fat. Subsequent steps include pressing to remove excess water and fat, drying to reduce moisture content, and grinding until a fine powder is obtained.

Animal by-products have emerged as a promising source of protein; nevertheless, concerns regarding their sanitary quality and nutritional variability have emerged. These challenges are associated with the handling and processing of raw materials, as Albino and Silva (1996) observed (cited in Matias et al., 2012). This product is frequently utilized as a protein supplement in feed for swine, poultry, and fish. In addition to its use as a feed supplement, its high nutrient content renders it suitable for use as an ingredient in organic fertilizers. The utilization of meat and bone meal offers several advantages, including the reduction of animal feeding costs by reusing by-products that would otherwise be discarded. Additionally, it minimizes environmental impact by recycling slaughterhouse waste and delivers essential nutrients efficiently to various animal species.

According to Article 322-D of Decree No. 1,225 (Brazil, 1994), Clause 1, meat and bone meal must contain a minimum of 40% protein, a maximum of 10% moisture, and a maximum of 10% fat. To ensure effective quality control, a rigorous evaluation of the ingredients through physical and chemical analyses is imperative. The chemical specifications established by MAPA and others are presented in Table 1.

Table 1 - Chemical Specifications for Meat and Bone Meal

Physicochemical Parameters	Specifications
Appearance	Homogeneous
Moisture	Max. 10%
Crude Protein	42% a 46%
Acidity	Max. 6 mg de NaOH/g
Peroxide	Max. 5 meq/1000 g
Ether Extract	Max. 8%
Mineral Matter	Max. 36%
Calcium	Min. 9%
Phosphorus	Min. 4,5%

Source: Adapted from Farol (2017), Bellaver & Zanotto (2004), Machado et al. (2021, apud Tiritan, 2022), and MAPA (2020).

Table 1 presents the physicochemical specifications for meat and bone meal, establishing parameters that ensure the quality of the product. The appearance of the meal should be homogeneous, with no visible separation of components. The maximum allowable moisture content is 10%, a level that has been demonstrated to facilitate the preservation of the product. The crude protein content should be a minimum of 46%, underscoring the significance of high protein content for animal nutrition.

Moreover, it is imperative to ensure that the production of meat and bone meal is conducted under hygienic and safe conditions to prevent the transmission of diseases. This is achieved through physicochemical analyses in quality control. The production and utilization of this product are subject to stringent legal regulations and sanitary standards, which are implemented to ensure food safety. For instance, the Normative Instruction No. 34 (Brazil, 2008), serves as a primary regulatory document in this regard.

Consequently, meat and bone meal emerges as a pivotal component in the formulation of animal feed, as well as in the realm of sustainable waste management within the agro-industrial domain.



2.2. Physicochemical Analysis of MBM

The physicochemical analysis of meat and bone meal (MBM) aims to assess its compliance with established quality standards, considering hygienic-sanitary and technological factors. The variability in the energy levels of MBM can be attributed to the quality of the raw materials and the processing methods used. Factors such as appearance, moisture content, processing temperature, grinding process, excess fat, presence of contaminants, and variations in protein content and acidity influence the quality of MBM. Tools like the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) Program are used to ensure quality and compliance with regulatory standards, guaranteeing food safety and the product's alignment with market requirements.

2.2.1. Physical Aspect

The appearance of meat and bone meal (MBM) is a critical parameter in evaluating its quality and suitability for use in animal feeds. This parameter encompasses characteristics such as color, texture, odor, and overall appearance, which have the capacity to influence the acceptance and effectiveness of the product (Butolo, 2002). The visual aspect of the product is of paramount importance in determining its acceptance among producers and consumers. A uniform appearance, devoid of any visible indications of contamination, serves as a hallmark of a high-quality product (Souza, 2024).

The color and texture of MBM can serve as indicators of processing effectiveness. A dark color can be indicative of overheating during processing, while an inconsistent texture may suggest the presence of processing problems. Butolo (2002) asserts that the substance contains bone particles in the form of grains of varying sizes, depending on their granulometry. The color of the meat ranges from light brown to dark brown, and it possesses a slight greasy quality due to its high fat content. Furthermore, the characteristic odor of the meal and its appearance can affect the palatability of the feed for animals. Products with an unpleasant odor or abnormal appearance may be less accepted by consumers, which could compromise nutrient intake.

The appearance of a product may also serve as an indicator of contamination or deterioration. For instance, products exhibiting signs of mold, discoloration, or a rancid odor may not comply with food safety standards. Research has demonstrated that high-quality meat and bone meal (MBM) should exhibit a light to medium brown coloration, a fine and homogeneous texture, and be free from visible contaminants such as whole bones or pieces of unprocessed tissue.

It has been demonstrated that acceptance by producers is higher when these characteristics are met. The study by Fernandes & Arnhold (2016) examined the impact of varying processing conditions, including temperature and time, on the characteristics of MBM, particularly its color. It has been established that overheating during the production process can result in the discoloration of the material, manifesting as a darkening of the color. Conversely, the presence of a very light coloration may be indicative of insufficient processing.

The texture, in turn, should be consistent and homogeneous, without clumps or large particles, reflecting proper processing. Research on palatability indicates that MBM with a strong or rancid odor can be less palatable for birds. Therefore, ensuring the maintenance of freshness and the prevention of fat oxidation is imperative to guarantee that the product is adequately consumed by the animals (Souza, 2024).



The literature highlights that visual appearance can be used as a quick criterion for detecting quality issues, where the presence of mold, discoloration, or unpleasant odor may indicate microbial contamination or deterioration, rendering the product unsuitable for animal consumption.

2.2.2. Moisture Content

The determination of moisture is imperative, as it is associated with both stability and the quality and composition of the products. As posited by Cecchi (2003, p. 47), water can be present in food in different forms, including free intergranular spaces and pores, absorbed, present on the surface of macromolecules, or in the form of hydration, chemically bound to other substances in the food.

Given the absence of a definitive maximum limit for moisture in FCO as stipulated by Brazilian legislation, research endeavors have been undertaken to assess the impact of this parameter across varying levels. Research in the domain of animal nutrition, as well as in the field of veterinary medicine, has demonstrated that moisture content constitutes a pivotal factor in the preservation of animal feed and ingredients, particularly in the context of meat and bone meal.

Chaves et al. (2019), for instance, conducted a study on the stability of commercial feeds stored under varying conditions. The findings of the study indicated that samples with moisture content levels exceeding 7% exhibited a significantly elevated risk of contamination, particularly by fungi. Such contamination poses a dual threat: it compromises the quality of the product and poses serious health risks to animals. Some fungi, for example, can produce mycotoxins, which are toxic compounds that can impair animal performance and well-being.

In the study by Costa et al. (2008), the moisture content of chicken, ostrich, and rhea offal meals was analyzed, with the following values obtained: The percentages were recorded at 5.53%, 3.52%, and 3.58%, respectively. The authors observed that strict moisture control during the drying process directly impacts the product's stability, thus influencing its acceptability for commercialization.

The study by Mazutti et al. (2010) investigated the moisture content in various animal-origin meals, noting that lower moisture levels, generally below 5%, promote greater stability in the meals. The research emphasized that, in environments with high relative humidity, products with lower moisture content exhibited reduced microbial proliferation, a crucial factor in ensuring food safety.

In this context, the Normative Instruction No. 34 (Brazil, 2008), the utilization of raw materials characterized by elevated moisture levels during the processing of animal by-products is strictly prohibited.

This prohibition is primarily driven by the understanding that these raw materials possess the potential to enhance microbial proliferation, thereby compromising the safety and integrity of the final product. Animal-origin meals with a moisture content exceeding 8% tend to decompose, accompanied by an increase in microorganism presence and acidification. Conversely, Butolo (2002) posits that inadequate moisture content can lead to product combustion, signifying wear and substandard equipment performance.

2.2.3. Ether extract

Ether extract (crude fat) is a critical parameter for evaluating the chemical composition of foods and substances. Bone and meat meal consist of triacylglycerols with varying compositions of fatty acids,

which can be either solid or liquid at room temperature depending on their degree of saturation (Bellaver; Zanotto, 2004 apud Tiritan, 2022). In instances where the fat content exceeds 12%, the incorporation of antioxidants is recommended to extend the storage duration (Souza, 2024).

The presence of free fatty acids (FFA) has been linked to the occurrence of acidity and hydrolytic rancidity. This phenomenon is attributed to the hydrolysis of the fats present in the meal, a process that may be facilitated by lipolytic bacteria (Bellaver; Zanotto, 2004 apud Tiritan, 2022). A study by Novello et al. (2008) assessed the fatty acid profile in chicken meat fed diets containing bone and meat meal, demonstrating that the fatty acid composition is influenced by the diet.

A review of the extant literature reveals significant variations in the ether extract (EE) content of bone and meat meals. Tronco et al. (2016) reported an average value of 9.08%, while Faria Filho et al. (2002) identified a content of 12.25%. Tucci et al. (2003) reported an even higher percentage, 15.50%, highlighting the influence of factors such as raw materials used and manufacturing processes on the lipid composition of the product.

Research in the fields of food engineering and animal nutrition, such as that by Martins and Souza (2018), indicates that diets with high fat content are more prone to oxidation, especially when exposed to high temperatures or stored for prolonged periods. Lipid oxidation not only compromises the nutritional value of the food, but also results in the formation of toxic compounds that can harm animal performance and health. A similar investigation was conducted by Mazutti et al. (2010), who examined the fat content in animal-origin meals. Their study emphasized that lower fat levels contribute significantly to the stability of the product, particularly in environments with high relative humidity, where fat oxidation can compromise the quality of the final product.

Therefore, although no maximum value is established for ether extract, it is essential to monitor and control parameters related to the lipid quality of bone and meat meal, such as acidity and peroxide index, to ensure safety and effectiveness in animal feeding.

2.2.4. Acidity

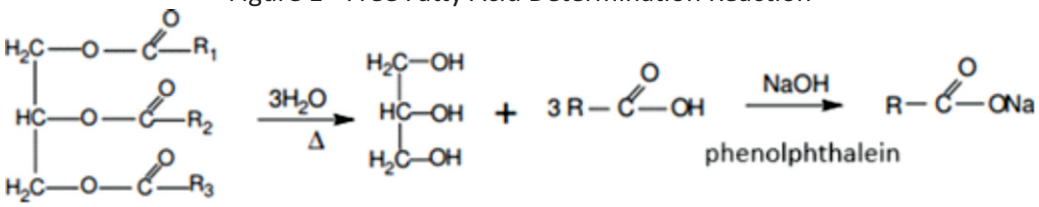
The acidity index is a quantitative metric of hydrolytic rancidity, defined as the hydrolysis of the ester bond by lipase and moisture, expressed in milligrams of NaOH per gram of sample. Its extensive application in various food formulations and components has been thoroughly documented. The titration of sodium hydroxide is employed to ascertain the total content of free fatty acids present in a food sample.

The fatty acids present in animal fats play crucial roles in nutrition and health, both in humans and animals. According to Embrapa (2009), the predominant fatty acids found in animal fats include unsaturated oleic acid (C18:1(n-9)), saturated palmitic acid (C16:0), and stearic acid (C18:0).

The precise ratio of saturated and unsaturated fatty acids in diets is imperative for optimal animal health. This balance not only optimizes digestion and nutrient absorption but also promotes the functionality of cell membranes. Furthermore, animal fats fulfill a pivotal function as concentrated energy sources, carriers of fat-soluble vitamins, and structural components (Gunstone, 2004).

Given that bacteria synthesize lipase, elevated acidity is frequently linked to a substantial bacterial population (Bellaver, 2001 apud Giongo, 2017). The hydrolysis of fats can be indicated by an increase in acidity, often due to hydrolytic rancidity and moisture, which leads to the presence of free fatty acids (Figure 1).

Figure 1 - Free Fatty Acid Determination Reaction



Source: Araújo (2008, p.107)

Factors such as batch treatment with acidic solutions can intensify the presence of acids in the meal, as the analysis is performed on the whole sample (Souza, 2022 apud Tiritan, 2022). The increase in free fatty acids concentration favors lipid oxidation, resulting in the formation of degradation compounds, such as free radicals and aldehydes, which significantly compromise the quality of the product. This oxidation causes rancidity, negatively affecting the taste, aroma, and nutritional value of the meal, making it less palatable and reducing its commercial value.

Degradation, in turn, reduces the nutritional value of the product, affecting its efficiency as an ingredient in animal feed. Another important point is that the presence of free fatty acids reduces storage stability, resulting in faster deterioration of the product, as it creates an environment conducive to the proliferation of undesirable microorganisms. Therefore, controlling the acidity index is essential to ensure the quality and safety of meat and bone meal.

Related research shows that the acidity index is a key parameter in the analysis of raw materials used for feed formulation, as the oxidation of lipids present in animal-origin meals can impair both the nutritional value and food safety. Gabbi et al. (2011), when investigating the stability of commercial feeds, observed that samples with high acidity indices had a greater degradation of essential fatty acids, compromising the nutritional value available to animals. Complementarily, Landin et al. (2017) suggest that low acidity indices are associated with good production and storage practices, which contribute to the formulation of higher-quality feeds with lower toxicity risks.

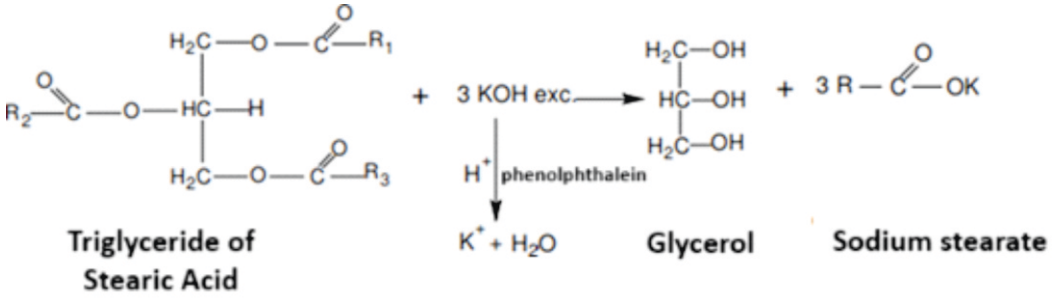
In this context, the study by Oliveira et al. (2009) showed that the increase in acidity in meat and bone meals is strongly correlated with storage time, as well as exposure to light and heat—conditions that promote lipid oxidation. The acidity values found ranged from 0.37 to 2.27 mg of NaOH/g, falling within the limits established by the technical specifications. These results highlight the importance of strict control of storage conditions to preserve the quality of these by-products.

2.2.5. Saponification Index

As Araújo (2008) asserts, the saponification index constitutes a metric by which the relative quantity of high and low molecular weight fatty acids present in an oil or fat sample can be ascertained. This information is obtained by determining the amount of base required to saponify a defined quantity of oil and/or fat, as represented in Figure 2. The index is expressed in milligrams of potassium hydroxide (KOH) required to saponify 1.0 gram of the analyzed sample.

The saponification index is a quantitative metric used to assess the quantity of fatty acids present in a given product. Conversely, an elevated saponification index corresponds to a greater proportion of low-molecular-weight fatty acids within the sample. This analysis is imperative in determining the quality and composition of the meal, particularly with regard to its lipid content and saponification capacity. The latter refers to the chemical reaction between a fatty acid and a base, resulting in the formation of soap and glycerol (Souza, 2024). Ensuring an appropriate saponification index is paramount to achieving a balanced proportion of fatty acids in the meal, a crucial aspect of animal nutrition.

Figure 2 – Reaction for the determination of saponification



Source: Araújo (2008, p.111)

The analysis of the saponification index in meat and bone meal plays a fundamental role in various evaluations. One of the most salient features of this system is its capacity to ascertain the quality and composition of the meal. The saponification index is a quantitative metric used to assess the quantity of fatty acids present in a given product. Conversely, an elevated saponification index corresponds to a greater abundance of low-molecular-weight fatty acids within the sample. This analysis is imperative in determining the quality and composition of the meal, particularly with regard to its lipid content and saponification capacity. The latter refers to the chemical reaction between a fatty acid and a base, resulting in the formation of soap and glycerol (Souza, 2024). Ensuring an appropriate saponification index is paramount to achieving a balanced proportion of fatty acids in the meal, a crucial aspect of animal nutrition.

The analysis of the saponification index in meat and bone meal plays a pivotal role in a variety of evaluations. Among the most salient of these is the assessment of the product's nutritional quality, as this index facilitates the estimation of the quality of the lipids present—nutrients that are fundamental to animal health. High-quality lipids are indispensable for two processes: the absorption of fat-soluble vitamins and the supply of energy. Beyond the nutritional aspect, this analysis also functions as a quality control instrument. A reduced saponification index may be indicative of the presence of contaminants or lipid degradation, both of which have the potential to compromise the quality and safety of the final product.

According to the report Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes (AOCS, 2013), the saponification index for animal-origin oils and fats ranges between 190 and 200 mg KOH/g of sample. Conversely, values below this range indicate a predominance of long-chain fatty acids, which, as described by Araújo (2008), can impair digestibility and energy efficiency of the feed. This phenomenon can be attributed to the increased metabolic complexity inherent in the breakdown of these fatty acids, which leads to a diminished capacity for energy absorption by the organism. Consequently, there is a reduction in nutritional utilization, particularly in diets that demand high efficiency in lipid absorption.

Rahman et al. (2023) observed that fish oils extracted using different methods showed variations in the saponification value, with higher values being associated with a greater proportion of lower molecular weight fatty acids. The authors highlighted that "the saponification value shows an inverse trend with the average chain length of the fatty acids present in the respective fish oil." Additionally, Ivanova et al. (2022) utilized nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy to ascertain the saponification value in various edible fats and oils. The findings indicated that oils with a higher proportion of short-chain fatty acids exhibited higher saponification values, while those with long-chain fatty acids demonstrated lower values.



Another salient aspect pertains to the pivotal role of the saponification index in the adjustment of feed formulations. This ensures that animals receive adequate nutrition without the risk of excess lipids, which could potentially compromise their health. As Rebouças (2013) observed in his research on processes and equipment for the production of meat and bone meal, the saponification index also serves as an indicator of the quality of lipids present in the meal, allowing for optimized use in feed. The utilization of meat and bone meals, characterized by a high saponification index, has the potential to mitigate the reliance on costly lipid supplements, such as vegetable oils or phosphates. This contributes to more cost-effective feed and promotes process sustainability by reducing reliance on external and costly lipid sources.

2.2.6. Crude Protein (CP)

The assessment of protein content in meat and bone meal is crucial for evaluating its nutritional value, particularly in formulations intended for animal nutrition. Proteins are macromolecules that are indispensable to life, with a ubiquitous distribution in organisms and crucial structural and functional roles both intracellularly and extracellularly. These macromolecules are composed of chains of amino acids linked by peptide bonds, forming structures known as polypeptide chains (Antônio et al., 2006; Almeida et al., 2013 apud Galeriani; Cosmo, 2020). In the context of animal-based meals, such as meat and bone meal, the protein content constitutes a primary indicator of quality and nutritional efficiency. This assessment is typically facilitated by methods such as the Kjeldahl method, which quantifies total nitrogen as an indirect estimate of protein concentration.

Moretti (2022, as cited in Tiritan, 2022) asserts that the dry matter in ingredients is comprised of two primary fractions: organic matter and inorganic matter. The organic fraction comprises nitrogenous compounds, which are critical for estimating crude protein (CP), a pivotal parameter in evaluating the nutritional quality of meat and bone meal. In general, the crude protein content tends to decrease in batches with a higher ash content, which represents the mineral matter content. Additionally, elevated levels of moisture and lipids in the composition have been shown to be associated with diminished protein content, as indicated by Souza (2022 apud Tiritan, 2022), given that these components proportionally dilute the nitrogenous fraction of the sample.

Given the extensive utilization of meat and bone meal in the sustenance of non-ruminant animals, such as swine and poultry, there exists considerable variability in its crude protein content, which can range from 33% to 52%, as reported by Abimorad et al. (2014 apud Tiritan, 2022). In the market, this ingredient is often standardized with values between 42% and 46% of crude protein, levels close to those found in soybean meal, in order to ensure greater nutritional predictability. However, it should be noted that such standardization does not always reflect the actual composition of the product, which can vary significantly depending on the ratio of meat to bone in the raw material, the type of thermal processing used, and the possible presence of contaminants or diluents. Furthermore, the amino acid composition can exhibit substantial variation between batches, directly impacting the final nutritional quality of the ingredient (Silva, 2019, p. 45).

In a study conducted by Oliveira et al. (2009), the crude protein content of ten different batches of meat and bone meal was analyzed using the Kjeldahl method, with results ranging from 39.13% to 50.89%. In a similar vein, Giongo (2017) employed near-infrared spectroscopy (NIRS), a technique that necessitates the homogenization and grinding of samples prior to analysis. In the present study, the protein content of the analyzed samples ranged from 45.12% to 53.77%, with results consistent with those previously reported in the literature. In addition to these studies, Mihaljev et al. (2015) and Hayes (2020) conducted a comparison of the Kjeldahl, Dumas, and NIRS methods for determining



protein content in meals and other animal-derived ingredients. The findings of the study indicated that, despite the merits of the NIRS method in terms of its rapidity and non-destructive nature, the Kjeldahl method may lead to an underestimation of crude protein content due to nitrogen losses during the process. The research conducted by Guimarães de Oliveira and Lima (2022) also underscores the efficacy of near-infrared spectroscopy (NIRS) as an analytical instrument for the assessment of protein and lipids in various animal products, including pork, which suggests its potential application in meat and bone meal, considering its efficiency and precision advantages.

2.2.7. Mineral Elements

The determination of mineral elements in meat and bone meal is imperative for the evaluation of its nutritional quality, as minerals are indispensable for animal health. According to Pappas (2006, as cited in Cosmo, 2020), minerals are defined as inorganic elements with a specific chemical composition. Within the body, minerals have the capacity to combine with organic molecules, such as enzymes and proteins, to execute particular biological functions (Pappas, 2006). The application of mineral analysis facilitates the quantification of these elements and the subsequent comprehension of their interactions within the metabolic processes of animals. Minerals are classified into two categories: macroelements, which are required in larger quantities and include elements such as calcium (Ca) and phosphorus (P), and microelements, which are required in smaller amounts and include elements such as iron (Fe) and zinc (Zn) (Bertóli, 2010 apud Cosmo, 2020).

These elements play vital roles in a variety of biological processes, from the formation of cellular structures to the regulation of metabolic functions, as previously highlighted by Cecchi (2003). Determining the mineral elements in MBM is imperative for evaluating the chemical composition and overall quality of the product. The extant literature emphasizes the importance of determining calcium and phosphorus levels, as these elements are essential macroelements in animal nutrition. They are required in large quantities for bone formation and the maintenance of various physiological functions in animals (Cecchi, 2003).

Mineral matter constitutes the inorganic residue resulting from the incineration of the sample at temperatures ranging from 550 °C to 600 °C. It offers insights into the aggregate mineral content present in plant-, animal-based, or mixed products (Brazilian Animal Feed Compendium, 2009, as cited in Tiritan, 2022). According to Moretti (2022, as cited in Tiritan, 2022), the classification of meat meal is determined by its mineral matter content. Specifically, meat meal is designated as meat and bone meal if it contains more than 26% mineral matter. Subsequently, an analysis of the resulting ash is conducted to ascertain the concentrations of calcium and phosphorus. These elements are present in meat and bone meal in a constant ratio, with a maximum limit of 2.2 parts of calcium to 1 part of phosphorus. The calcium content is approximately 9%, while the phosphorus content is approximately 4.5%, as indicated by Bellaver and Zanotto (2004) and Machado et al. (2021, apud Tiritan, 2022).

According to Souza (2024) apud Tiritan (2022), when the calcium/phosphorus ratio in meat and bone meal (MBM) exceeds 2.25, microscopic analyses and spot tests often reveal the presence of calcium sources that are not part of the original product, such as limestone. This prompts concerns regarding the quality of the product, as these supplementary calcium sources may be present as contaminants or adulterants.

Moretti (2022, as cited in Tiritan, 2022) has demonstrated that the ratios of meat meals are typically as follows: The ratio of ash to phosphorus is 5.84, the ratio of ash to calcium is 2.75, and the ratio of



calcium to phosphorus is 2.12. These ratios are significant indicators of the composition and quality of meat and bone meal (MBM), as determining calcium and phosphorus levels is essential for evaluating the nutritional quality of this ingredient, which is widely used in animal feed.

Brazilian regulations pertaining to meat and bone meal (MBM) stipulate stringent parameters for its mineral composition. In accordance with the provisions stipulated in Normative Instruction No. 110 (Brazil, 2020), the mineral matter content is to be maintained within the specified limits, with a maximum threshold of 43%. Additionally, the calcium to phosphorus (Ca/P) ratio is to be managed in a manner that does not exceed 2.25. In accordance with these criteria, Giongo (2017) employed Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to analyze MBM, thereby obtaining mineral matter values ranging from 25.08% to 36.91%. These results are consistent with the limits established by current legislation and align with data reported in the extant literature.

In their 2005 study, Bellaver, Ludke, and Ludke examined the chemical composition of multiple samples of MBM intended for swine. Their analysis revealed mineral matter contents ranging from 31.90% to 44.66%, calcium ranging from 10.41% to 15.84%, and phosphorus ranging from 5.17% to 7.62%. Furthermore, Avelar et al. (2009) characterized the mineral composition of bone meals utilized in Brazilian agriculture, emphasizing the substantial presence of phosphorus and calcium, which are indispensable for animal nutrition. These data underscore the necessity of meticulous examination of the mineral composition of MBM to ensure its nutritional integrity and adherence to prevailing regulations.

CONCLUSION

Meat and bone meal (MBM) is a strategic ingredient in poultry feed formulation, distinguished by its high protein and mineral content, as well as its role as a sustainable alternative by promoting the reuse of animal by-products. Notwithstanding its nutritional potential, the variability in MBM composition and quality necessitates rigorous quality control measures to ensure both food safety and the zootechnical performance of poultry.

The implementation of consistent regulatory standards, in conjunction with precise analytical methodologies for the monitoring of its physicochemical characteristics, is imperative to ensure the reliability of this input. Furthermore, judicious utilization in conjunction with effective management practices can enhance its nutritional and economic benefits. Consequently, MBM emerges as a promising alternative in poultry nutrition, provided its use is based on rigorous technical and sanitary criteria. When utilized in an appropriate manner, it has the potential to enhance production efficiency and contribute to the sustainability of the livestock sector.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

Abimorad, E. G., Castellani, D., Gonçalves, G. S., Romera, D. M., Garcia, F., & Nascimento, T. M. T. (2014). Partial replacement of soybean meal by meat and bone meal in diets for Nile tilapia juveniles. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 49(11), 865–871. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100008.

Araújo, J. M. A. (2008). Química de alimentos – Teoria e Prática (4ª ed.). Editora da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Associação Brasileira de Reciclagem Animal – ABRA. (2020). Estudo da cadeia produtiva da indústria de rendering no Brasil. Brasília: ABRA. Recuperado em 16 de julho de 2025, de https://abra.ind.br/abra/wp-content/uploads/2020/07/Estudo-Cadeia-Produtiva.pdf.

Avelar, A. C., & Ferreira, W. M. (2009). Controle de qualidade em subprodutos de origem animal. Archivos de Zootecnia,23(4),237–240.https://doi.org/10.4321/S0004-05922009000400012.

Bellaver, C., & Zanotto, D. L (2004). Parâmetros de qualidade em gordura e subprodutos proteicos de origem animal. In Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas (Vol. 1, pp. 79–102). FACTA.

Bellaver, C., Ludke, J. V., & Ludke, M. C. M. M. (2005). Farinha de carne e ossos na alimentação de suínos e aves (Documentos, 153). Embrapa Suínos e Aves. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1053034/1/doc153.pdf .

Brasil. (1994). Decreto nº 1.255, de 29 de junho de 1994. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/historicos/dcm/dcm1255impressao.htm.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2008). Instrução Normativa nº 34, de 28 de maio de 2008. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacao-animal/legislacao/instrucao-normativa-no-34-de-28-de-maio-de-2008.pdf.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2020). Instrução Normativa nº 110, de 10 de setembro de 2020. https://www.gov.br/agricultura/pt-br.

Butolo, J. E. (2002). Qualidade de ingredientes na alimentação animal. Colégio Brasileiro de Nutrição Animal.

Cecchi, H. M. (2003). Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos (2ª ed. rev.). Editora da Unicamp. https://doi.org/10.7476/9788526814721.

Chaves, L. D. C. S., Oliveira, J. L. G., Lima, M., & Machinski, T. G. (2019). Prevalência de contaminação fúngica em rações vendidas a granel na cidade de Teresina-PI. Pubvet, 13(12), 1–5. https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n12a461.1-5.

Cosmo, M. N. B., & Galeriani, M. T. (2020). Minerais na alimentação animal. *Revista Agronomia Brasileira, 4(1), 45–60.

Costa, D. P. S., Romanelli, P. F., & Trabucco, E. (2008). Aproveitamento de vísceras não comestíveis de aves para elaboração de farinha de carne. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 28(3), 746–752.

Embrapa. (2009). Análise do Perfil de Ácidos Graxos no Contra-Filé Bovino pela RMN 13 de C em Alta Resolução. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/658240/1/BPD262009.pdf.

Faria Filho, D. E., Souza, A. V. C., Tronco, A. R., & Gomes, P. C. (2002). Avaliação da farinha de carne e ossos na alimentação de frangos de corte. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 4(1), 37–45.

Fernandes, S., & Arnhold, E. (2016). Avaliação de fatores que afetam a qualidade de farinha de vísceras na indústria de subprodutos avícolas. Universidade Federal de Goiás. https://repositorio.bc.ufg.br/tedeserver/api/core/bitstreams/c91df4a3-414b-47f9-a2c1-ce22035118be/content.

Gabbi, A. M., Cypriano, L., & Piccinin, I. (2011). Aspectos microbiológicos e físico-químicos de três rações comerciais sob diferentes condições de armazenamento. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 12, 729–738.

Gunstone, F. D. (2004). The Chemistry of Oils and Fats: Sources, Composition, Properties and Uses. Blackwell Publishing.

Guimarães de Oliveira, J. L., & Lima, M. de. (2022, janeiro). Uso de NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) para caracterização de carne suína. Anais do I Simpósio Online Sul-americano de Tecnologia, Engenharia e Ciência de Alimentos. https://www.researchgate.net/profile/Marieli-De-Lima/publication/360556210.

Hayes, M. (2020). Measuring protein content in food: An overview of methods. Foods, 9(10), 1340. https://doi.org/10.3390/foods9101340.

Ivanova, M., Hanganu, A., Dumitriu, R., Tociu, M., Ivanov, G., Stavarache, C., Popescu, L., Ghendov-Mosanu, A., Sturza, R., Deleanu, C., & Chira, N.-A. (2022). Saponification value of fats and oils as determined from 1H-NMR data: The case of dairy fats. Foods, 11(10), 1466. https://doi.org/10.3390/foods11101466.

Landin, J. P., Cassol, M., Barbosa, R. G. & Baldo, F. V. (2017). Qualidade de farinha de carne e osso suíno: Análise de shelf life de farinha de carne e osso para a produção de ração [Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Santa Catarina]. https://tecnologiaemalimentos.smo.ifsc.edu.br/wp-content/uploads/2017/05/TCC_Jean-Pierre-Landin_Maico-Cassol.pdf.

Martins, P., & Souza, V. R. (2018). Oxidação lipídica no processo de extrusão em pet food [Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá]. https://ppz.uem.br/trabalhos-de-conclusao/dissertacoes/2018/priscila-m-ribeiro.pdf.

Matias, C. D. Q., Lara, L. J. C., Baião, N. C., Cardoso, D. D. M., & Baião, R. C. (2012). Utilização de farinhas de origem animal na avicultura. Nutritime, 9(5), 1944–1964.

Mazutti, M. A., Treichel, H., & Di Luccio, M. (2010). Esterilização de farinha de subprodutos animais em esterilizador industrial. Food Science and Technology, 30(1), 48–54.

Mihaljev, Ž. A., Jakšić, S. M., Prica, N. B., Ćupić, Ž. N., & Živkov-Baloš, M. M. (2015). Comparison of the Kjeldahl method, Dumas method and NIR method for total nitrogen determination in meat and meat products. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 21(4), 365–370.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2020). Instrução Normativa nº 110, de 24 de novembro de 2020. https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/arquivos-alimentacao-animal/copy2_of_IN110 2020LISTADEMATERIASPRIMAS.pdf

Giongo, A. (2017). Avaliação da qualidade da farinha de carne e ossos comercializada na região do Vale do Taquari [Trabalho de conclusão de curso, Universidade do Vale do Taquari – Univates]. Universidade do Vale do Taquari. https://www.univates.br/tecnicos/media/artigos/Artigo_Anelise.pdf.

Oliveira, J. L. G., & Lima, M. (2022). Uso de NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) para caracterização de carne suína. In Anais do 1º Simpósio Online Sul-Americano de Tecnologia, Engenharia e Ciência de Alimentos. Even3. https://www.even3.com.br/anais/tecali2021/454306-uso-de-nirs-(near-infrared-reflectance-spectroscopy)-para-caracterizacao-de-carne-suina/

Oliveira, V., Machinski, T. G., Silva, Y. L., Araújo, J. S., & Schneiders, J. L. (2009). Variabilidade da composição química, física e microbiológica de farinhas de carne e ossos. Revista da FZVA, 16(2), 173–186.

Pessôa, G. B. S., Tavernari, F. D. C., Alves Vieira, R., & Albino, L. F. T. (2012). Novos conceitos em nutrição de aves. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 13, 755–774.

Rahman, N., Hashem, S., Akther, S., & Jothi, J. S. (2023). Impact of various extraction methods on fatty acid profile, physicochemical properties, and nutritional quality index of Pangus fish oil. Food Science & Nutrition, 11(8), 4688–4699. https://doi.org/10.1002/fsn3.3431.

Rebouças, A. S. (2013). Processos e equipamentos para produção de farinha de carne, farinha de ossos e colágenos esterilizados, usando a rota úmida (Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil). Repositório CAPES.

Souza, A. V. C. (2024). Farinha de carne e ossos na alimentação de aves e suínos: definição e parâmetros de qualidade. Polinutri. https://www.polinutri.com.br/upload/artigo/219.pdf.

Tiritan, M. T. (2022). Farinha de carne e ossos: uma revisão sobre parâmetros de qualidade. In Ciência e Tecnologia de Alimentos: O avanço da ciência no Brasil (Vol. 2, pp. 202–217). Editora Científica Digital. https://doi.org/10.37885/220508786.



Tronco, A. R., Gomes, P. C., Mello, H. H. C., Albino, L. F. T., & Rocha, T. C. (2016). Composição química e energética de alimentos para frangos de corte. Revista Ciência Agronômica, 47(4), 755–760.

Tucci, F. M., Laurentiz, A. C., Santos, E. A., Rabello, C. B., Longo, F. A., & Sakomura, N. K. (2003). Determinação da composição química e dos valores energéticos de alguns alimentos para aves. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 25(1), 85–89.

Zanotto, D. L., & Bellaver, C. (2004). Parâmetros de qualidade em gordura e subprodutos proteicos de origem animal. In Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas (Vol. 1, pp. 79–102). FACTA.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_8

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE TOMATE GRAPE EM AMBIENTE PROTEGIDO

Cínthia Ferreira Martins
Universidade Federal de Viçosa

Ariana Mota Pereira
Universidade Federal de Viçosa
ariana.mota@ufv.br

Pablo Murta Baião Albino
Universidade Federal de Viçosa

Renata Ranielly Pedroza Cruz
Universidade Federal de Viçosa

RESUMO

O cultivo de tomate grape em ambiente protegido representa uma oportunidade de investimento no setor agrícola. Diante dos elevados custos de investimentos demandados pelo cultivo protegido, a análise de viabilidade econômica torna-se indispensável. Contudo, na região da Zona da Mata, especificamente no município de Rio Pomba, estudos desse tipo são escassos. O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise de viabilidade econômica de um projeto direcionado à produção de tomate grape em casa de vegetação no referido município. Para o levantamento de todos os dados, foram feitas orçamentações com fornecedores de insumos e equipamentos que atendem a região, bem como coleta de dados junto a produtores do segmento e o estudo do histórico de preços registrados nas CEASAs mais próximas entre os anos de 2022 e 2025. A viabilidade econômica foi avaliada utilizando os indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Tempo de Retorno do Capital (TRC) e Relação Benefício/Custo (RBC). Adicionalmente, fez-se a análise de sensibilidade do projeto para avaliar sua resiliência frente as oscilações de preço na venda. Os resultados atestaram a viabilidade econômica, apresentando VPL de R$ 86.833,36, TIR de 18% e TRC de cinco anos. Entretando, a análise se sensibilidade revelou que o empreendimento não é capaz de absorver as quedas históricas no preço de venda. Por fim, constatou-se que a atividade é economicamente viável, mas sua sustentabilidade depende da gestão comercial e do planejamento de safra para garantir que a comercialização ocorra no período de melhor preço de venda.

Palavras-chave:
Casa de vegetação; Minitomates; Planejamento de safra.

ABSTRACT

The cultivation of grape tomatoes in a protected environment represents an investment opportunity in the agricultural sector. Given the high investment costs required for protected cultivation, an economic feasibility analysis becomes indispensable. However, in the Zona da Mata region, specifically in the municipality of Rio Pomba, studies of this type are scarce. This work aimed to conduct an economic feasibility analysis of a project focused on the production of grape tomatoes in a greenhouse in the aforementioned municipality. To gather all the data, budgets were obtained from suppliers of inputs and equipment serving the region, as well as data collection from producers in the sector and a study of the historical prices recorded in the nearest wholesale markets between 2022 and 2025. Economic viability was evaluated using the indicators Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), and Benefit/Cost Ratio (BCR). Additionally, a sensitivity analysis of the project was performed to assess its resilience to price fluctuations in sales. The results confirmed the economic viability, presenting an NPV of R$ 86,833.36, an IRR of 18%, and a payback period of five years. However, the sensitivity analysis revealed that the venture is not able to absorb historical drops in the selling price. Finally, it was found that the activity is economically viable, but its sustainability depends on commercial management and crop planning to

Keywords:
Greenhouse; cherry tomatoes; crop planning.

INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é a hortaliça mais produzida no Brasil. No cenário nacional, os dados mais recentes mostram que a cultura ocupa uma área de 60 mil hectares com produtividade média de 72 toneladas/ha, sendo o volume produzido no país de 4,4 milhões de toneladas, gerando um valor de produção estimado de R$ 9,9 bilhões (IBGE, 2024). A produção está distribuída em todas as regiões do país, todavia, o estado de Goiás é o maior produtor com 1,4 milhões de toneladas produzidas, seguido dos estados de São Paulo e Minas Gerais. De todo o volume produzido nacionalmente, 65% são destinados para o consumo *in natura* e 35% para o uso industrial (CONAB, 2019).

O tomate *in natura*, por ser a hortaliça mais consumida pelos brasileiros (POF, 2018), estimula a oferta de uma ampla variedade de tomates no mercado, que podem ser classificados em cinco grupos varietais distintos, conforme suas características morfológicas e genéticas: Santa Cruz, Caqui, Salada, Italiano e Minitomate. Este último grupo abrange diversos tipos como o coquetel, cereja, mini-italiano, *tomatoberry* e o *grape*, que se destaca por sua crescente aceitação no mercado (ALVARENGA, 2022).

Entre as opções comercializadas, o tipo *grape* diferencia-se do tradicional tomate cereja pelo formato dos frutos que se assemelham a uma baga de uva, elevados teores de açúcares e baixa acidez (ALAVRENGA, 2022). Dados recentes sobre a produção e o consumo de minitomates pelos brasileiros são escassos e pouco atualizados, mas estima-se que o consumo venha crescendo a taxas médias entre 15 e 20% anualmente (JUNQUEIRA et.al., 2011). Assim, a produção de tomate *grape* pode ser uma alternativa de alta rentabilidade, respaldada na oferta de um produto diferenciado com elevado valor comercial quando comparado com os grupos Salada e Italiano, chegando a custar, em média, de 20 a 40% a mais do que esses grupos (JUNQUEIRA et.al, 2011)

Em razão do aumento da demanda e do valor comercial os produtores têm optado por produzir esse grupo varietal em cultivo protegido (CAMPAGNOL et al., 2017). Outras possíveis motivações para adesão desse modelo de produção são a oferta de um produto diferenciado em termos de qualidade e a atuação em nichos específicos de mercado, como pequenos varejistas e venda direta ao consumidor (FARIA JUNIOR et al., 2018).

Atrelado a isso, em relação ao manejo da cultura, o ambiente protegido permite a modificação parcial das condições ambientais, especialmente da temperatura, favorecendo o encurtamento do ciclo produtivo e proporcionando maior rapidez na

produção. Além disso, protege as plantas contra chuvas intensas, ventos fortes e eventos climáticos adversos, como granizo e geadas, reduzindo perdas produtivas. As condições proporcionadas pelo ambiente protegido permitem ainda o aumento da densidade de plantio, resultando em elevada produtividade em pequenas áreas de cultivo, com produtos de melhor qualidade visual e maior possibilidade de comercialização em períodos de maior valorização no mercado (FONTES, 2019).

No entanto, o cultivo protegido de tomate demanda elevado aporte inicial de capital, por isso, é necessário avaliar o perfil do empreendedor e a viabilidade do estabelecimento do negócio antes de iniciá-lo (FARIA JUNIOR et al., 2018). Por esse motivo, a realização de análises detalhadas das oportunidades de mercado, do investimento inicial e dos custos operacionais é fundamental e indispensável para garantir a sustentabilidade financeira do investimento. Diante disso, a realização de um diagnóstico que reflete a real estrutura de custos, considerando a disponibilidade de insumos e mão de obra e a logística de comercialização dos produtores locais torna-se imprescindível. A análise de viabilidade econômica permite identificar os riscos atrelados a atividade, evitando prejuízos e fomentando o desenvolvimento da olericultura na região. Dessa forma, o estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica da produção de tomate *grape* em ambiente protegido no município de Rio Pomba, Minas Gerais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado para o Sítio Boa Vista (21°15'03.2” S e 43°08'13.9” W), uma propriedade de 33 hectares que faz parte da comunidade Monte Alegre, zona rural do município de Rio Pomba, Minas Gerais. A cidade está inserida no bioma Mata Atlântica, sob o domínio do clima Tropical (Aw), caracterizado por temperaturas médias variando entre 22 e 23°C com chuvas predominantes no verão e invernos secos, segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013).

A propriedade possui relevo predominantemente forte ondulado, típico do domínio morfoclimático Mares de Morros e solos majoritariamente classificados como Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos. Embora apresente topografia acidentada, a propriedade dispõe de áreas planas, anteriormente utilizadas como pastagens, que podem ser destinadas à instalação da casa de vegetação sem gerar custos extras com terraplanagens. A área destinada à construção da casa de vegetação ainda conta com água encanada proveniente de nascente, fator determinante para o manejo da fertirrigação durante o período de cultivo. Além disso, a proximidade da propriedade com o centro urbano de Rio Pomba e com grandes centros consumidores como Ubá e Juiz de Fora facilita o escoamento da produção para os mercados regionais, otimizando os custos logísticos de distribuição previstos no projeto.

Descrição da casa de vegetação e sistema de irrigação

O sistema de produção foi projetado considerando uma casa de vegetação de 1008 m^2, dimensão comercial (Irrizom Estufas e Equipamentos Agrícolas, Viçosa-MG). A estrutura considerada segue o modelo arco com lanternim semi-arco, construída em tubo oblongo, com dimensões individuais de 24 m de largura, 42 m de comprimento e 4 m de pé-direito.

Para a cobertura superior da casa de vegetação, previu-se a utilização de filme agrícola de polietileno difusor (52%), com espessura de 120 micras, transparência de 87% e cinco camadas de tratamento anti-UV, visando a durabilidade de 3 anos do filme, garantida pelo fabricante. Para o fechamento das laterais foi utilizado sistema de cortina com manivela utilizando filme agrícola de 150 micras.

Para o manejo da irrigação foi considerado sistema de gotejamento composto por uma motobomba monofásica de 1 cv, um filtro de disco 2", um reservatório de 3000 L, tubos, conexões e 1000 m de fita gotejadora que devem ser substituídos a cada dois anos.

Cultivar

A cultivar escolhida para o projeto foi a BRS Zamir, um tomate tipo *grape* híbrido desenvolvido pela Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), com ampla adaptabilidade a diferentes regiões produtoras e com recomendação de cultivo tanto em ambiente protegido quanto em campo nos períodos secos do ano. Trata-se de uma planta de crescimento indeterminado, recomendada para o cultivo estaqueado, com o início da colheita previsto aos 70 dias após o transplantio.

A BRS Zamir possui bifurcação dos cachos, o que permite a produção de até 200 frutos por cacho (COUTINHO, 2024). Essa característica morfológica confere à planta um elevado potencial produtivo, estimado entre 6 e 8 Kg planta^{-1} em ambiente protegido. Além disso, a cultivar apresenta resistência aos fungos *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* raças 1 e 2 e a *Verticillium dahliae* raça 1.

Sistema de produção

Em ambiente protegido, a recomendação para a BRS Zamir é conduzir até três hastes por planta, variando o espaçamento de plantio de acordo com o número de hastes desejado. Para este projeto adotou-se o espaçamento de 1,20 m entre linhas e 0,6 m entre plantas, com condução de três hastes por planta até a altura de 2,20 m.

O sistema de tutoramento escolhido foi o vertical com fitilho, visando melhor distribuição da luz, em função da alta densidade de hastes (4,17 hastes/m^2). O sistema será sustentado por uma estrutura de estacas de eucalipto tratado dispostas a cada 5 metros e arame liso galvanizado n° 16. Para o dimensionamento do estande de plantas, considerou-se a inclusão de corredores em todas as laterais da casa de vegetação com 0,5 m de largura. Esse recuo foi subtraído da área total da estufa (1008 m^2), resultando em uma área útil de 943 m^2. Com base nesse espaço e no espaçamento adotado, a capacidade total da estufa é de 1.310 plantas. Sobre esse sistema de manejo, espera-se que as plantas

atinjam o potencial produtivo de 8 Kg planta^{-1} ao longo de 12 semanas de colheita, uma vez que será fornecido condições ideais de água, nutrientes, temperatura e luz para seu desenvolvimento, totalizando uma produção projetada de 9.956 Kg para a estrutura, ao considerar 5% de perdas na colheita.

Por se tratar de um cultivo em ambiente protegido, o plantio poderá ser realizado em qualquer época do ano, buscando sempre coincidir o pico de produção com o melhor preço de venda. Nos períodos mais quentes do ano, as laterais da estufa serão levantadas para permitir maior circulação de ar e evitar o estresse térmico das plantas e no inverno elas serão mantidas fechadas para impedir danos por frio.



Preparo do solo e manejo de plantas daninhas

A etapa inicial do preparo do solo consistirá na amostragem para fins de diagnóstico da fertilidade, avaliando-se a necessidade de calagem, gessagem e adubação. As amostragens serão realizadas anualmente, com três meses de antecedência em relação ao transplantio das mudas.

O preparo do solo terá início após a confecção da casa de vegetação com a aração, seguido pelo nivelamento e destorroamento com grade, seguido da confecção dos canteiros com enxada rotativa. Nesse momento também serão incorporadas três toneladas de esterco de curral curtido para incrementar matéria orgânica ao solo e melhorar seus aspectos físicos e biológicos. Posteriormente, serão confeccionados os canteiros com 0,6 m de largura e 41 m de comprimento. Por último, será instalado o *mulching* plástico sobre a superfície dos canteiros, visando o controle das plantas daninhas e a conservação da umidade.

Manejo da fertilidade do solo

Em conformidade com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018), o solo da área em estudo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Esse solo é caracterizado pela baixa fertilidade natural, apresentando saturação por bases (V%) inferior a 50% e horizonte B latossólico com CTC menor que 17 cmolc Kg^{-1}. Diante desse contexto, e considerando o histórico da área, a definição da calagem baseou-se nos valores de saturação por bases atual (45%), pretendida (80%) e CTC de 13 cmolc. Kg^{-1}, servindo como parâmetros para o cálculo dos custos com correção do solo. Para fins operacionais, previu-se o uso de calcário com PRNT de 90%, a ser distribuído e incorporado em área total. O método adotado para determinar a necessidade de calagem (NC) foi o da saturação por bases.

Dessa maneira, o volume de calcário estimado para fazer a correção do solo foi de 8 t/ha. Ou seja, para a área de 1008 m^2 da casa de vegetação serão necessários 800 Kg de calcário. Para elaborar o manejo nutricional, a correção do solo e a adubação foram estipuladas tendo como referência a recomendação técnica da 5° Aproximação (1999) para a cultura do tomateiro estaqueado, em condições de baixa disponibilidade de nutrientes no solo argiloso, tendo em vista o histórico de utilização da área (pastagem) e as características do solo.

Contudo, considerando a ausência de tabelas de calibração específicas para o tomate grape no referido manual, as doses de N, P2O5 e K2O foram ajustadas. Essa adequação foi fundamentada no manejo empírico, nos coeficientes técnicos já consolidados em lavouras comerciais da região e na produtividade média do tomate *grape* (aproximadamente de 30 a 100 t/ha), visando adequar as exigências nutricionais às necessidades da cultura. As doses totais de nutrientes aplicadas serão de 280 kg ha^{-1} de nitrogênio (N), 840 kg ha^{-1} de fósforo (P_2O_5) e 560 kg ha^{-1} de potássio (K_2O), correspondendo, para uma área de 1.000 m^2, a 28, 84 e 56 kg, respectivamente. Para os micronutrientes e para o enxofre seguiu-se as recomendações integrais do manual de 1 Kg/ha de B, 3 Kg/ha de Zn e 30 Kg/ha de S aplicados no plantio.

A recomendação de adubação foi estabelecida com base na 5ª Aproximação para a cultura do tomateiro, que recomenda 400 kg ha^{-1} de N, 1200 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 800 kg ha^{-1} de K_2O. Posteriormente as doses foram ajustadas para 280 kg ha^{-1} de N, 840 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 560 kg ha^{-1} de K_2O, o que pe equivalente a 28 kg 1000 m^2 de N, 84 kg 1000 m^2 e 56 kg por 1.000 m^2.



A escolha dos fertilizantes foi fundamentada na adoção do sistema de fertirrigação por gotejamento previsto no projeto e na disponibilidade de aquisição na região. Para que a distribuição pelo sistema de irrigação seja satisfatória e não cause obstrução do sistema é necessário o uso de fertilizantes solúveis. Diante desse cenário, os fertilizantes selecionados para o manejo nutricional serão MAP purificado (solubilidade de 370g/L), nitrato de cálcio (1.020g/L), sulfato de magnésio (850g/L), KCl purificado (340g/L), sulfato de zinco (965g/L) e ácido bórico (50g/L), como fontes de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e B. Os fertilizantes devem apresentar estas solubilidade a 20 °C.

Controle de pragas e doenças

Diante da grande variedade de agentes bióticos que podem comprometer a produtividade do tomateiro demonstrados na revisão de literatura, o manejo fitossanitário torna-se uma variável dependente das condições ambientais, da suscetibilidade varietal e da pressão de inóculos e pragas na área. O manejo fitossanitário do projeto foi elaborado com a associação de métodos culturais e químicos, tanto para as doenças quanto para os insetos praga.

Para fins de levantamento de custos relacionados ao manejo fitossanitário, foram contabilizados apenas os alvos biológicos de maior ocorrência. Tendo em vista que os custos relacionados ao manejo de pragas e doenças são muito variáveis, para fins de orçamentação, no controle químico foram adotadas o número máximo de aplicações recomendadas por cada fabricante. A variedade de produtos e princípios ativos com o mesmo alvo biológico foi estabelecida levando em consideração a rotação de mecanismos de ação, buscando evitar o desenvolvimento de resistências, conforme estabelecido no manejo integrado de pragas e doenças.

O manejo fitossanitário será realizado com aplicações de fungicidas à base de difenoconazol, mancozebe e piraclostrobina + fluxapiroxade, visando o controle de septoriose, requeima e oídio. Para o manejo de insetos, serão utilizados abamectina, acetamiprido, ciromazina, clorfenapir, espinosade, fenpropatrina, isocicloseram, lufenurom e clorantraniliprole + lambda-cialotrina, destinados ao controle de traça-do-tomateiro, mosca-minadora, mosca-branca, pulgão-verde, tripes e broca-pequena-do-fruto.

No controle cultural, previu-se a eliminação dos restos culturais e a rotação de culturas com espécies que não pertencem à família Solanaceae. Para a rotação podem ser cultivadas outras hortaliças, como o pepino (*Cucumis sativus*) e a alface (*Lactuca sativa*).

Colheita e comercialização

O ponto de colheita será definido por meio de análise visual da coloração dos frutos, por ser o método que confere maior rapidez e praticidade na operação. Para isso, os trabalhadores responsáveis pela colheita serão treinados para identificar e colher manualmente os tomates com coloração que varie de rosada a vermelha,

No que se refere à comercialização, os tomates serão acondicionados em embalagens plásticas, com capacidade para 250 g de fruto, e destinados à Central de Abastecimento de Minas Gerais (CEASA-MG), unidade de Juiz de Fora.



Orçamentação do projeto

A orçamentação baseou-se na especificação técnica do projeto e suas respectivas demandas, com o objetivo de assegurar que todos os recursos necessários para atingir a produtividade esperada fossem cotados de forma adequada. As cotações foram divididas em duas categorias, sendo a primeira referente aos custos de implantação e manutenções e a segunda, aos custos operacionais da produção.

Os custos de implantação referem-se aos dispêndios iniciais e únicos necessários para colocar o negócio em funcionamento. Já os custos de manutenção são todos aqueles referentes a substituição ou reforma de um bem ou benfeitoria adquirido na implantação do projeto.

Os custos operacionais são referentes a todos os dispêndios necessários para que as atividades relacionadas ao cultivo sejam realizadas. Eles se repetem todos os anos e compreendem os insumos, serviços, mão de obra e frete.

Cálculo das receitas geradas pelo empreendimento

As receitas foram geradas ao final de cada ciclo produtivo, que compreende um período de cinco meses a partir do transplantio. O faturamento foi estimado com base no somatório da expectativa de produção semanal multiplicada pelo preço de venda mais comum nas Centrais de Abastecimento de Minas Gerais, unidades de Juiz de Fora e Barbacena, nos meses previstos para a colheita.

Para estimar a produção semanal, utilizou-se como referência a pesquisa realizada por Fayad et al. (2001) com a cultivar Santa Clara e com o híbrido EF-50 em ambiente protegido, onde os autores concluíram que a colheita dos frutos se concentra no período de 109 a 135 dias após o transplantio (DAT). Segundo os autores, 94,45% dos frutos colhidos ao longo do ciclo eram comerciais, indicando um índice de perda de apenas 5,55%.

Na ausência de informações semelhantes para o tomate *grape*, espera-se que a cultivar BRS Zamir tenha um comportamento semelhante ao da Santa Clara e, por isso, foi estimada uma distribuição da produção de frutos ao longo das semanas para estimar a colheita baseada nos resultados do estudo citado anteriormente. Associando esses dados a informações levantadas a campo junto com produtores da região, foram estabelecidos valores médios de produção por planta em função dos dias decorridos após o transplantio. Esse planejamento visa alinhar o pico produtivo da cultura com os períodos de melhores preços no mercado. Sendo assim, ficou estimado que o início da colheita aconteceria aos 70 DAT com colheita média de 600 g/planta/semana até os 109 DAT. No período de 109 a 135 DAT foi considerada produção média de 800 g/planta/semana e dos 136 aos 154 DAT produção de 500g/planta/semana. Essa divisão escalonada da produção resulta na produtividade estimada para o projeto.

Para estipular o preço comum, foi feita uma série histórica dos preços registrados nas CEASAs de Juiz de Fora e Barbacena nos últimos quatro anos (2022 a 2025). Foram calculadas as médias para cada ano e mês em cada central e, a partir delas, procedeu-se o cálculo da moda estatística para estabelecer o preço de venda mais recorrente em cada mês.



Fluxo de caixa líquido

O fluxo de caixa líquido é o registro de toda a movimentação de dinheiro do empreendimento ao longo do horizonte de investimento. Ele é calculado pela diferença entre as receitas geradas pelo negócio e todas as saídas de capital, desprezando-se receitas e despesas de natureza contábil, como a depreciação e a amortização, que não são pagas ou recebidas em termos de caixa (ASSAF NETO, 1992). Para a estruturação do fluxo de caixa do projeto, considerou-se que as receitas foram todas geradas exclusivamente pela comercialização dos tomates embalados. Já as saídas de capital foram representadas pelos investimentos iniciais e de manutenção e pelos custos operacionais.

Além das movimentações nominais, o fluxo de caixa apresenta os saldos descontados a uma taxa de juros de 14,75% ano a ano. Essa projeção é fundamental, pois traz os valores futuros do fluxo para valor presente por meio da taxa de desconto, indicando o potencial de geração de caixa positivo do projeto ao longo do tempo.

Indicadores de viabilidade econômica

Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é um método de análise que desconta os fluxos de caixa do projeto a uma taxa mínima de atratividade (TMA) necessária para assegurar o valor de mercado do empreendimento. Esse indicador permite avaliar se o valor presente das entradas de caixa, no tempo de duração do projeto, excede o valor do investimento inicial, indicando o capital gerado pelo empreendimento (Gitman, 2010). Quando o VPL é positivo há indicativo de que o projeto gerará um retorno superior ao custo de capital da empresa. O valor excedente aumenta o valor de mercado do negócio e, consequentemente, a riqueza dos proprietários, em um valor correspondente ao VPL apurado. De forma prática, o resultado positivo confirma que o valor presente das entradas supera o investimento inicial e os custos operacionais, validando a viabilidade econômica do projeto.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa o retorno mínimo que o investimento precisa atingir para se tornar interessante ao investidor. Nesse trabalho, a TMA considerada foi igual a taxa Selic atual, de 14,75%. Quando a Taxa Interna de Retorno (TIR) é superior à TMA, o negócio é considerado atrativo. Nesse cenário, o retorno no investimento feito pelo empreendedor é maior do que se o recurso estivesse sendo aplicado a taxa Selic.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas futuras ao investimento inicial, resultando em um VPL nulo (OLIVEIRA, 1979).

Tempo de Retorno do Capital (TRC)

O TRC é o tempo necessário para que o fluxo de caixa recupere em totalidade o investimento inicial do projeto (GITMAN, 2010). O tempo de retorno do capital considera o pagamento do investimento inicial a partir das receitas geradas pela comercialização dos produtos.

Relação Benefício/Custo (RBC)

A relação benefício/custo de um produto ou serviço é o valor que retornará para o investidor em troca do que ele investiu no negócio.

Análise de sensibilidade

Para avaliar a resiliência financeira do projeto diante das oscilações do mercado, a análise de sensibilidade focou na variável de maior impacto na receita, o preço de venda do tomate *grape*. O objetivo dessa análise foi avaliar como os indicadores de viabilidade financeira (VPL, TIR, TRC e RBC) se comportam em um cenário de redução dos preços. Para isso, o fluxo de caixa foi simulado considerando a maior redução de preço registrada no período compreendido entre os anos de 2022 e 2025. Dessa maneira, buscou-se compreender se o empreendimento é capaz de absorver oscilações abruptas no valor de comercialização sem comprometer a viabilidade financeira.

RESULTADOS

Preço de venda

A definição do preço de venda fundamentou-se no levantamento histórico dos preços mais frequentes praticados nas CEASAs de Juiz de Fora e Barbacena entre os anos de 2022 e 2025 (Tabela 1).

Tabela 1. Preços médios das caixas de 1,7 Kg de fruto registrados de 2022 a 2025

Preços médios de venda das caixas de 1,7 Kg registrados por mês nos últimos 4 anos em Juiz de Fora (JF) e Barbacena (BQ) (R$)								
Mês/Ano	2022		2023		2024		2025	
	JF	BQ	JF	BQ	JF	BQ	JF	BQ
Jan	9,00	10,00	16,00	12,80	10,50	11,00	11,50	10,00
Fev	10,67	9,71	12,00	9,71	12,00	10,00	11,33	12,75
Mar	12,00	9,67	12,00	9,67	12,00	10,00	15,57	12,43
Abr	11,50	10,00	11,50	10,50	11,33	10,67	14,67	12,33
Mai	12,00	10,00	11,00	9,50	12,00	12,00	12,57	12,00
Jun	12,00	10,29	12,00	11,00	10,75	10,25	14,25	12,00
Jul	11,50	8,80	11,33	10,75	9,33	8,22	15,71	12,38
Ago	10,00	9,78	11,50	10,00	9,33	8,00	12,17	12,22
Set	11,20	9,71	10,00	9,33	8,29	8,00	11,00	10,00
Out	9,33	9,71	10,67	9,00	8,13	8,00	8,89	8,67
Nov	9,50	10,00	12,00	10,00	8,00	5,89	5,64	6,67
Dez	11,20	9,33	12,00	10,00	9,25	5,75	6,67	6,00

Fonte: Elaborada pela autora.

É possível observar que os preços médios de venda sofrem oscilações significativas para o mesmo mês ao longo dos anos (Tabela 1). Assim, com o objetivo de obter maior rigor e precisão para a estimativa do preço de venda que foi utilizado para determinar as receitas, aplicou-se o cálculo da moda estatística sobre os dados reunidos, isolando as discrepâncias e identificando o preço de maior recorrência praticado no mercado regional. Os valores modais obtidos para cada mês do ano estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Preço de venda mais comum ao longo dos meses

Preço de venda mais comum ao longo dos meses (R$/ cx. 1,70 Kg)											
Jan	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**
10,00	9,71	12,00	11,50	12,00	12,00	11,00	10,00	10,00	8,00	10,00	6,00

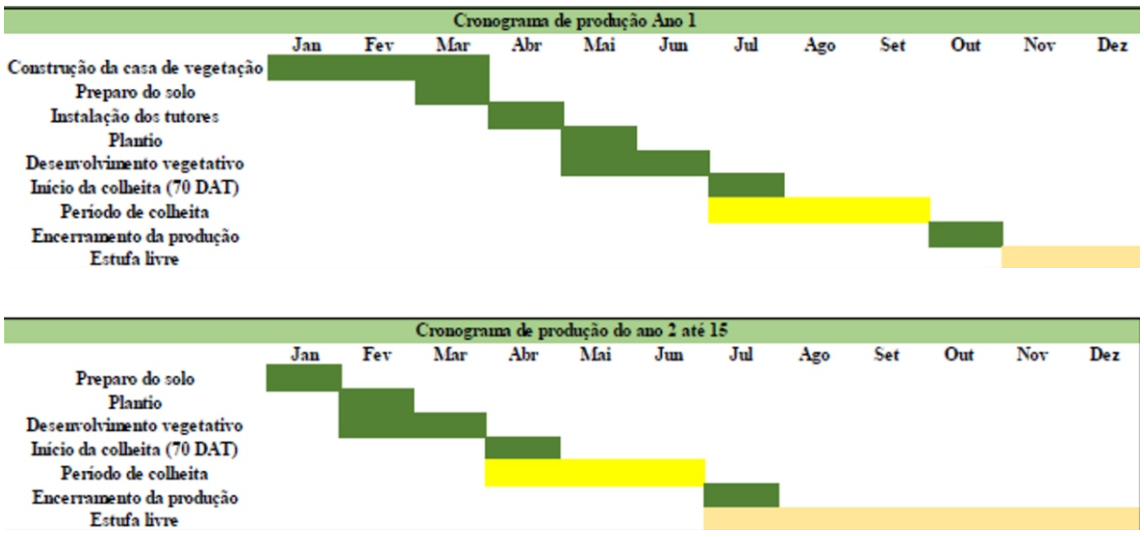
Fonte: Elaborada pela autora.

A análise dos dados revelou que o período compreendido entre os meses de março e julho configura a melhor janela para a comercialização dos frutos, período que, historicamente, concentra as maiores cotações no mercado. Além disso, fica evidente que o mês de dezembro concentra as cotações mais baixas no período avaliado (Tabela 2). Do ponto de vista do planejamento agrícola, torna-se estratégico programar o ciclo da cultura para que o período de colheita coincida com o intervalo de alta dos preços, aproveitando o momento para gerar receitas maiores.

Cronograma de produção

Ao associar os dados de produção com os preços modais encontrados para cada mês do ano, elaborou-se um planejamento de colheita (Figura 1). O objetivo foi alinhar a fase de maior rendimento das plantas com a janela de melhor comercialização. Esse alinhamento maximizou o faturamento do negócio, aproveitando o momento de alta do mercado para escoar o maior volume de produção.

Figura 1. Cronograma de produção do tomate *grape.*



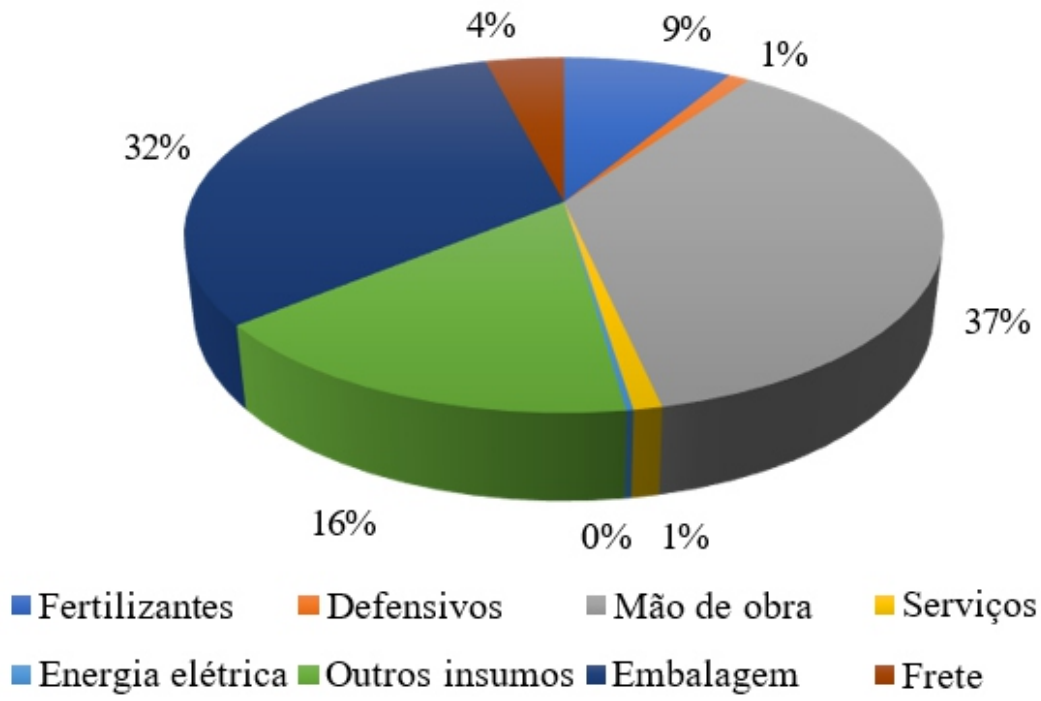
Fonte: Elaborado pela autora.

Para a viabilização operacional de todo o planejamento da produção, estabeleceu-se um cronograma de implantação distribuído ao longo dos meses. Tendo em vista que o "Ano 1" do horizonte de investimento compreende a construção da casa de vegetação, o cronograma de implantação da cultura nesse período difere dos anos subsequentes. O planejamento cronológico incluiu todas as fases iniciais de preparo do solo até o encerramento da colheita, conforme apresentado na Figura 1. Os períodos denominados "Estufa livre" são os meses em que não há produção de tomate na casa de vegetação e que podem ser utilizados para o cultivo de outras hortaliças, como alface e pepino, visando a rotação de culturas no espaço.

Orçamentação do projeto

O levantamento de todos os custos envolvidos no projeto exigiu o mapeamento rigoroso de todos os dispêndios necessários para a implantação e condução da lavoura de tomate na casa de vegetação. Dessa forma, a estrutura completa dos custos, incluindo os investimentos iniciais e de manutenção e as despesas operacionais, encontra-se detalhada no Anexo 1, constituindo a base da análise de viabilidade do projeto. A orçamentação baseou-se em cotações realizadas junto a fornecedores locais e em indicadores técnicos obtidos com produtores de tomate tipo *grape* da região. O resultado do levantamento revelou que entre os investimentos iniciais, a casa de vegetação representou o principal desembolso, sendo seu valor orçado em R$ 96.518,93, que corresponde a 89,68% dos dispêndios dessa categoria. Para garantir o funcionamento de todas as atividades previstas para a produção, os custos operacionais foram estimados em R$ 37.876,06 por ciclo produtivo, representado por um período de cinco meses. A composição e a distribuição percentual dos custos operacionais estão ilustradas no Figura 2, permitindo identificar visualmente os itens de maior impacto financeiro no projeto.

Figura 2. Distribuição dos custos operacionais



Fonte: Elaborado pela autora.

A divisão dos custos operacionais por categoria revela que a maior parcela dos desembolsos está concentrada na mão de obra, que atingiu R$ 13.786,00, valor correspondente a 37% dos custos, e na compra das embalagens, que chegou a R$ 11.947,20, o equivalente a 32% do total. Juntas, essas duas categorias compõem 69% de todas as despesas operacionais do projeto. Esse resultado justifica-se pela elevada demanda por mão de obra na realização dos tratos culturais e na colheita manual, somada à necessidade de embalar o produto para comercialização.

Receita bruta gerada pelo negócio

Considerando que a formação da receita bruta é derivada da multiplicação do preço praticado pela quantidade produzida, a composição da receita bruta do projeto foi estabelecida pela estratégia de concentrar o pico de produção das plantas com a melhor janela de comercialização do ano (entre março e julho). Apesar disso, no "Ano 1" os tomates foram comercializados fora dessa janela devido ao tempo necessário para construir a casa de vegetação, o que influenciou na data de plantio. Assim, no "Ano 1" espera-se uma receita bruta de R$ 60.321,65 e nos demais anos de R$ 69.399,18. O detalhamento das receitas está demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Receita bruta gerada pelo projeto - **Fluxo de caixa**

Receitas geradas pelo empreendimento									
RECEITA ANO 1									
Semanas de colheita	Produção por planta (Kg)	Número de plantas	Produção (Kg)	Taxa de perda (%)	Produção real (Kg)	Número de caixas de 1,7 Kg	Mês de colheita	Preço de venda (R$)	Total (R$)
1,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Julho	11,00	4.831,59
2,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Julho	11,00	4.831,59
3,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Julho	11,00	4.831,59
4,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Julho	11,00	4.831,59
5,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Agosto	10,00	4.392,35
6,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Agosto	10,00	5.856,47
7,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Agosto	10,00	5.856,47
8,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Agosto	10,00	5.856,47
9,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Setembro	10,00	5.856,47
10,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Setembro	10,00	5.856,47
11,00	0,50	1.310,00	655,00	5,00	622,25	366,03	Setembro	10,00	3.660,29
12,00	0,50	1.310,00	655,00	5,00	622,25	366,03	Setembro	10,00	3.660,29
TOTAL (R$)									60.321,65
RECEITA ANO 2 A ANO 15									
1,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Abril	11,50	5.051,21
2,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Abril	11,50	5.051,21
3,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Abril	11,50	5.051,21
4,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Abril	11,50	5.051,21
5,00	0,60	1.310,00	786,00	5,00	746,70	439,24	Maio	12,00	5.270,82
6,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Maio	12,00	7.027,76
7,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Maio	12,00	7.027,76
8,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Maio	12,00	7.027,76
9,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Junho	12,00	7.027,76
10,00	0,80	1.310,00	1.048,00	5,00	995,60	585,65	Junho	12,00	7.027,76
11,00	0,50	1.310,00	655,00	5,00	622,25	366,03	Junho	12,00	4.392,35
12,00	0,50	1.310,00	655,00	5,00	622,25	366,03	Junho	12,00	4.392,35
TOTAL (R$)									69.399,18

Com base no fluxo de caixa projetado, o planejamento financeiro para os primeiros anos de operação da produção de tomates *grape*, no município de Rio Pomba, mostra-se essencial para a consolidação do negócio. Conforme observado na Tabela 7, embora o empreendimento gere receitas positivas após o primeiro ano, o fluxo de caixa acumulado permanece negativo até o Ano 3, encerrando esse período com um saldo de R$ - 22.488,58 devido ao elevado dispêndio inicial

empregado na implantação do projeto. A recuperação dos investimentos iniciais ocorre no Ano 4, quando o saldo acumulado atinge R$ 8.962,54. Esse momento consolida o Tempo de Retorno do Capital simples (TRC simples), demonstrando que o investimento inicial é totalmente recuperado a partir do quarto ano de atividade.

A análise dos indicadores econômicos, calculados a partir do fluxo de caixa projetado para o horizonte de 15 anos, confirma a viabilidade financeira da produção de tomate *grape* em casa de vegetação no município. Com uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 14,75%, o empreendimento alcançou Taxa Interna de Retorno (TIR) de 18%. Nesse cenário, o Valor Presente Líquido (VPL) resultou em um saldo positivo de R$ 86.833,36, evidenciando que o projeto é capaz de recuperar os investimentos iniciais, cobrir os custos operacionais e gerar riqueza ao final do horizonte considerado. Adicionalmente, o Tempo de Retorno do Capital descontado (TRC) a uma taxa de juros de 14,75% estabeleceu a recuperação dos investimentos no quinto ano de operação, um prazo esperado para negócios agrícolas. Outro indicador crucial para a validação da viabilidade econômica foi a Relação Benefício/Custo (RBC) de R$ 2,01. Esse resultado significa que para cada R$ 1,00 investido na lavoura, o projeto retorna R$ 2,01 a valor presente. Por ser um valor superior a 1, o indicador ratifica a viabilidade do negócio, demonstrando que os benefícios gerados superam a totalidade dos custos.

Apesar de apresentar viabilidade econômica, a proximidade entre a TMA (14,75%) e a TIR (18%) reduz a atratividade do projeto, uma vez que o investidor busca por oportunidades de alocação de recursos que gerem retorno maior quando comparado a atual taxa Selic. Nesse contexto, o fluxo de caixa torna-se altamente sensível a oscilações nas receitas ou a aumentos imprevistos nos custos operacionais. Essa condição eleva o risco do negócio, pois o empreendimento possui pouca flexibilidade financeira para absorver flutuações de mercado.

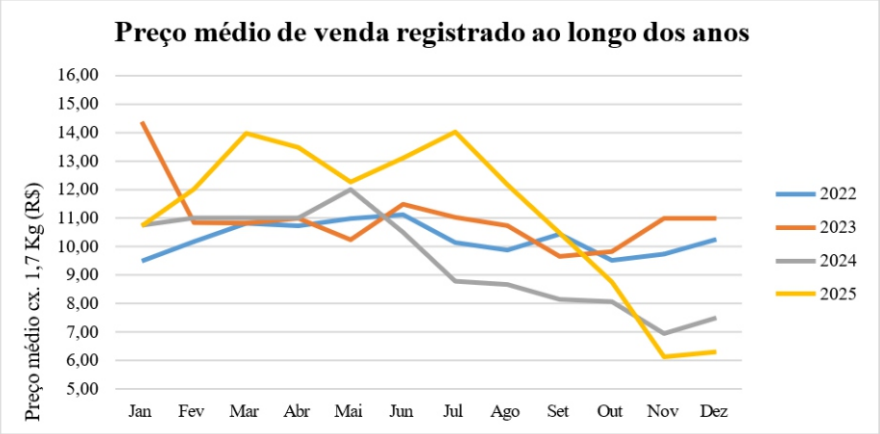
Tabela 4. Fluxo de caixa do empreendimento

FLUXO DE CAIXA DA PRODUÇÃO DE TOMATE *GRAPE* EM CASA DE VEGETAÇÃO															
Especificações	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**	**Ano 11**	**Ano 12**	**Ano 13**	**Ano 14**	**Ano 15**
A. SAÍDAS															
1. Custos operacionais	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06	R$ 37.876,06
2. Investimentos	R$ 107.620,41	R$ -	R$ 360,00	R$ 72,00	R$ 360,00	R$ 12.090,00	R$ 432,00	R$ -	R$ 360,00	R$ 1.122,00	R$ 11.950,00	R$ -	R$ 432,00	R$ 1.050,00	R$ 360,00
SUBTOTAL DAS SAÍDAS (A)	R$ 145.496,47	R$ 37.876,06	R$ 38.236,06	R$ 37.948,06	R$ 38.236,06	R$ 49.966,06	R$ 38.308,06	R$ 37.876,06	R$ 38.236,06	R$ 38.998,06	R$ 49.826,06	R$ 37.876,06	R$ 38.308,06	R$ 38.926,06	R$ 38.236,06
B. ENTRADAS															
1. Venda do tomate	R$ 60.321,65	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18
SUBTOTAL DAS ENTRADAS (B)	R$ 60.321,65	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18	R$ 69.399,18
Fluxo de caixa	-R$ 85.174,82	R$ 31.523,12	R$ 31.163,12	R$ 31.451,12	R$ 31.163,12	R$ 19.433,12	R$ 31.091,12	R$ 31.523,12	R$ 31.163,12	R$ 30.401,12	R$ 19.573,12	R$ 31.523,12	R$ 31.091,12	R$ 30.473,12	R$ 31.163,12
Fluxo de caixa acumulado	-R$ 85.174,82	-R$ 53.651,70	-R$ 22.488,58	R$ 8.962,54	R$ 40.125,66	R$ 59.558,78	R$ 90.649,90	R$ 122.173,02	R$ 153.336,14	R$ 183.737,26	R$ 203.310,38	R$ 234.833,50	R$ 265.924,62	R$ 296.397,74	R$ 327.560,86
Fluxo de caixa descontado (14,75%)	-R$ 85.174,82	R$ 27.471,13	R$ 23.666,58	R$ 20.815,08	R$ 17.973,40	R$ 9.767,40	R$ 13.618,22	R$ 12.032,62	R$ 10.366,20	R$ 8.812,83	R$ 4.944,62	R$ 6.939,84	R$ 5.964,91	R$ 5.094,86	R$ 4.540,50
Fluxo de caixa descontado acumulado	-R$ 85.174,82	-R$ 57.703,69	-R$ 34.037,11	-R$ 13.222,03	R$ 4.751,37	R$ 14.518,77	R$ 28.136,98	R$ 40.169,61	R$ 50.535,80	R$ 59.348,63	R$ 64.293,25	R$ 71.233,09	R$ 77.198,01	R$ 82.292,86	R$ 86.833,36

Análise de sensibilidade Preço médio cx. 1,7 Kg (R$)O levantamento do histórico de preços de venda dos últimos quatro anos indicou a existência de alta volatilidade nos valores, conforme ilustrado no Gráfico 3. Os dados demonstram que o preço sofre forte declínio nos meses de novembro e dezembro, reflexo da dinâmica de oferta e demanda no mercado. Nesse período, os valores chegaram

a patamares que provavelmente não seriam suficientes para cobrir os custos inerentes à atividade, podendo comprometer integralmente a viabilidade econômica caso a colheita ocorra nessa janela desfavorável.

Gráfico 3- Comportamento do preço médio de venda ao longo dos anos e meses



Para avaliar a resiliência do fluxo de caixa frente à volatilidade dos preços de venda no mercado regional, realizou-se a análise de sensibilidade aplicando uma redução de R$ 7,85 no valor estimado para o cálculo das receitas. Esse valor corresponde à redução máxima observada ao longo dos anos, em conformidade com a Tabela 5.

Tabela 5. Redução máxima de preço observada dentro de um mesmo ano

Média de preço mês a mês da cx 1,7 Kg ao longo dos anos (R$)				
Mês/ Ano	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
Jan	9,50	14,40	10,75	10,75
Fev	10,19	10,86	11,00	12,04
Mar	10,83	10,83	11,00	14,00
Abr	10,75	11,00	11,00	13,50
Mai	11,00	10,25	12,00	12,29
Jun	11,14	11,50	10,50	13,13
Jul	10,15	11,04	8,78	14,04
Ago	9,89	10,75	8,67	12,19
Set	10,46	9,67	8,14	10,50
Out	9,52	9,83	8,06	8,78
Nov	9,75	11,00	6,94	6,15
Dez	10,27	11,00	7,50	6,33
Redução máxima (R$)	**1,64**	**4,73**	**5,06**	**7,85**

Diante dessa circunstância, constatou-se a total inversão da viabilidade econômica. O VPL recuou de R$ 86.833,36 para R$ -225.410,74 e a TIR não pôde ser estimada, já que todos os resultados do fluxo de caixa descontado a 14,75% foram negativos. Esse resultado também inviabilizou o cálculo do TRC, que se tornou indeterminado dentro do horizonte de 15 anos. Nesse cenário, a RBC declinou para zero, indicando que o empreendimento não geraria qualquer retorno sobre o capital investido. Essa condição deixa evidente que o negócio é incapaz de sustentar as mínimas históricas do CEASA, comprovando que a ocorrência de picos produtivos em períodos de baixa cotação compromete integralmente a sustentabilidade do negócio. Assim, fica evidente que o sucesso do projeto depende do planejamento de safra para esquivar-se da janela de preços baixos.



CONCLUSÃO

A análise dos indicadores econômicos demonstrou que a atividade é economicamente viável para o município e constitui uma alternativa para produtores de hortaliças da região. O fluxo de caixa projetado para 15 anos demonstrou que o projeto possui capacidade de cobrir todos os custos operacionais, recuperar o capital inicial investido em cinco anos e gerar um Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R$ 86.833,36. Além disso, o negócio consegue remunerar os investimentos acima da taxa mínima de atratividade, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 18%.

Apesar de atestada a viabilidade econômica, a análise de sensibilidade revelou que a atividade não é capaz de absorver as reduções de preço registradas nas centrais de abastecimento, evidenciando que a gestão comercial e o planejamento da safra são imprescindíveis para a sustentabilidade do negócio.

Diante do exposto, conclui-se que o cultivo de tomate *grape* em ambiente protegido no município de Rio Pomba é recomendado, desde que amparado por um planejamento técnico de safra. O alinhamento da colheita com a melhor janela de comercialização, período compreendido entre os meses de março e julho, torna-se imprescindível para a viabilidade econômica do projeto, esquivando-se dos períodos de forte desvalorização do produto nas CEASAs.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. S.; ARAÚJO, N.M.; ANTÔNIO, A.C.; NICK, C. Tratos Culturais. In: NICK, C.; SILVA, D. J.H.; BORÉM, A. Tomate: do plantio à colheita. 1.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2018. p. 102-117.

ALVARENGA, M. A. R. Tomate: Produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. 3ªEd. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2022. 517p.

ALVARES, C. A. ALCARDE, C.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507 . Acesso em: 08 jun. 2026.

ASSAF NETO, A. Os métodos quantitativos de análise de investimentos. Caderno de Estudos, São Paulo, n. 6, p. 1–16, out. 1992. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-92511992000300001. Acesso em: 9 jun. 2026.

CAMPAGNOL, R. M.; MELLO, S. da C.; MELO, P. C.T. de; MINAMI, K. Cultivo de minitomates em ambiente protegido [online]. Curitiba: SENAR-PR, 2017. 60 p. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0327-Cultivo-Minitomates-Ambientes-Protegidos_web.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Tomate: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense. Compêndio de Estudos da CONAB, v.21. Brasília: Conab, out. 2019. 20p. Disponível em: https://antigo.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab/item/download/29586_4fe6dd2c9c6d1fa5e1cbc5f82061717d. Acesso em: 30 jun. 2025.

COUTINHO, C. Tomate BRS Zamir com elevado teor de licopeno é apresentado pela Embrapa na Anuga 2024. Campo & Negócios, 16 abr. 2024. Disponível em: https://campoenegocios.com/tomate-brs-zamir-com-elevado-teor-de-licopeno-e-apresentado-pela-embrapa-na-anuga-2024/ . Acesso em: 30 maio 2026

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). 5. Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manejo Integrado da Traça-do-tomateiro em Ambiente protegido. Brasília, Embrapa, 2005. Disponível em:https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/779134/4/ct36.pdf. Acesso em: 25 mai. 2026.



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Mosca-branca. Brasília, Embrapa, 2022. Agência de Informação Tecnológica - Ageitec. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/producao/doencas-e-pragas/pragas/mosca-branca. Acesso em: 25 maio 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Tomate BRS Zamir. Brasília, Embrapa, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9807/tomate-brs-zamir. Acesso em: 17 mar. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Traça-do-tomateiro. Brasília, Embrapa, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/producao/doencas-e-pragas/pragas/traca-do-tomateiro. Acesso em: 25 mai. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Tratos culturais. Brasília, Embrapa, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate/producao/tratos-culturais. Acesso em: 24 mai. 2026.

FARIA JUNIOR, M. J. de A.; HORA, R. C. da. Cultivo protegido. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. (orgs.) Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018. p. 451-487. Disponível em: https://doi.org/10.7476/9786586383010.0016. Acesso em: 30 jun. 2025.

FAYAD, J.A.; FONTES, P.C.R.; CARDOSO, A.A.; FINGER, L.F.; FERREIRA, F.A. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. Horticultura brasileira, Brasília, v. 19, n. 3, p. 232-237, novembro 2001. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-05362001000300016. Acesso em: 11 mai. 2026.

FERNANDES, M.E.S.; FERNANDES, F.L.; ASSUNÇÃO, N.S.; OLIVEIRA, J.C.; RAPOSO, T.P.; PICANÇO, M.C. Manejo de pragas. In: NICK, C.; SILVA, D. J.H.; BORÉM, A. Tomate: do plantio à colheita. 1.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2018. p. 118-140.

FILHO, J.U.T.B.; GOTO, R.; BRAGA, R. S.; HACHMANN, T.L. Solanáceas. In: FILHO, J.U.T.B.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto. 1.ed. Maringá: Eduem, 2018. p. 37-55. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/olericultura/livros/HORTALICAS%20F RUTO.pdf. Acesso em: 23 mai. 2026.

FONTES, P.C.R.; SILVA, D.J.H. Cultivo de Hortaliças em Ambiente Protegido. In: FONTES, P.C.R.; NICK, C. Olericultura: Teoria e Prática. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2019, p. 235-265.

GITMAN, L. J. Princípios da Administração Financeira. Título Original: Principles of managerial finance. 12ª Ed. Publicada por Pearson Education em versão PT. São Paulo, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2017-2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/24786-pesquisa-de-orcamentos-familiares-2.html. Acesso em: 30 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção detomate no Brasil. 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br. Acesso em: 26 jun. 2025.

JUNQUEIRA, A.H, PEETZ, M.S. Sweet Grape: Um modelo de inovação na gestão da cadeia de produção e distribuição de hortaliças diferenciadas no Brasil. 2011. Disponível em; https://casestudies.insightnet.com.br/sakata-seed-modelo-de-inovacao-na-gestao-da-cadeia-de-producao-e-distribuicao-de-hortalicas/. Acesso em 19 mai. 2026.

LOPES, C. A. Doenças do tomateiro. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em:https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135499/doencas-do-tomateiro . Acesso em: 30 maio 2026.

OLIVEIRA, A. Método da taxa interna de retorno: caso de taxas múltiplas. Revista de Administração de Empresas, v. 19, n. 2, p. 41–48, 1979. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0034-75901979000200005. Acesso em: 26 jun. 2025.

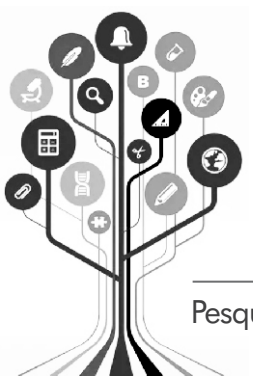
PONCE, F. da S. Mosca-minadora ressurge como ameaça aos cultivos. Revista Cultivar, Pelotas, v. 138, p. 28-31, fev./mar. 2023. Disponíve em: https://www.revistacultivar.com.br/arquivos/eac3b8cc-af2a-4a9f-9873-41d98e30d161.pdf. Acesso em: 25 mai. 2026.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. V. (ed.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; CRUZ FILHO, J.; CHAVES, G.M. Controle integrado das doenças do tomateiro. In: Encontro Nacional de Produção e Abastecimento de Tomate, 1, 1989, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 1989. p. 55-76.

SEÇÃO II

Ciências Humanas e Sociais



Capitulo 9

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_9

GESTÃO DO CONHECIMENTO, ATIVOS INTANGÍVEIS E EFICIÊNCIA ORGANIZACIONAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Washington Moreira Cavalcanti
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Montanha
washington.cavalcanti@gnail.com

Maria Aparecida Fernandes
Universidade Federal de Minas Gerais
m.cidafernandes29@gmail.com

RESUMO

Este estudo tem como objetivo entender a relação entre gestão do conhecimento, ativos intangíveis e eficiência organizacional, para tanto, foi adotada a metodologia de revisão sistemática da literatura. A pesquisa segue uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, usando um protocolo estruturado de busca em bases científicas nacionais e internacionais. Os resultados mostram que os ativos intangíveis, especialmente o capital intelectual, são essenciais para criar uma vantagem competitiva sustentável. Esses ativos são fortalecidos por práticas eficazes de gestão do conhecimento. Além disso, a integração estratégica desses ativos melhora a eficiência organizacional, mesmo com os desafios em medir e aplicar essas práticas. Este trabalho ajuda a fortalecer as bases teóricas do tema de estudo e destaca áreas que precisam de mais investigações empíricas.

Palavras-chave:
Gestão do conhecimento; Ativos intangíveis; Capital intelectual; Eficiência organizacional; Vantagem competitiva.

ABSTRACT

This study aims to understand the relationship between knowledge management, intangible assets, and organizational efficiency. To this end, a systematic literature review methodology was adopted. The research follows a qualitative, exploratory, and descriptive approach, using a structured search protocol in national and international scientific databases. The results show that intangible assets, especially intellectual capital, are essential for creating a sustainable competitive advantage. These assets are strengthened by effective knowledge management practices. Furthermore, the strategic integration of these assets improves organizational efficiency, even with the challenges in measuring and applying these practices. This work helps to strengthen the theoretical foundations of the study topic and highlights areas that need further empirical investigation.

Keywords:
Knowledge management; Intangible assets; Intellectual capital; Organizational efficiency; Competitive advantage.

INTRODUÇÃO



surgimento da sociedade do conhecimento mudou os fundamentos da competitividade organizacional. Agora, o foco está nos recursos intangíveis baseados no conhecimento, em vez de ativos tangíveis. Nesse contexto, o conhecimento é visto como um ativo estratégico vital para gerar valor e inovação.

Ativos intangíveis, como capital intelectual, marcas, patentes e *know-how*, têm um papel central na explicação do desempenho organizacional. Muitas vezes, eles superam os ativos físicos em importância econômica (Davenport e Prusak, 1998).

Diante desse cenário, a Gestão do Conhecimento (GC) surge como um mecanismo essencial para criar, compartilhar e aplicar conhecimento. Isso melhora a eficiência organizacional e sustenta a competitividade. A GC se torna um campo estratégico que sistematiza os processos de criação, armazenamento, compartilhamento e aplicação do conhecimento. Ela alinha esses processos aos objetivos organizacionais e promove a inovação contínua.

A sociedade do conhecimento se destaca pela importância do saber como motor do desenvolvimento econômico e social, deixando de lado a lógica do capital físico. Autores como Drucker (1993) e Castells (1999) ressaltam o papel do trabalhador do conhecimento e das redes informacionais nesse novo contexto.

Apesar de reconhecer esses conceitos, há fragmentação teórica e lacunas na integração entre GC, ativos intangíveis e eficiência organizacional. Portanto, este estudo tem como objetivo responder à seguinte questão de pesquisa: *Como a literatura científica aborda a relação entre gestão do conhecimento, ativos intangíveis e eficiência organizacional?*

Embora o tema seja relevante, ainda existem lacunas na literatura sobre como integrar gestão do conhecimento, ativos intangíveis e eficiência organizacional. A mensuração e a operacionalização desses elementos são áreas especialmente carentes. Por isso, este trabalho justifica-se ao realizar uma revisão sistemática da literatura que consolida o estado da arte, identifica convergências teóricas e sugere caminhos para avançar na discussão.



O objetivo geral deste artigo é analisar, através de uma revisão sistemática da literatura, a intersecção entre gestão do conhecimento, ativos intangíveis e seu impacto na eficiência organizacional. Os objetivos específicos incluem mapear os modelos teóricos que conectam capital intelectual e valor de mercado, identificar as lacunas na pesquisa atual sobre a mensuração da eficiência desses ativos e sintetizar evidências empíricas sobre o papel da GC na aceleração da inovação corporativa.

A motivação desta pesquisa vem da necessidade de entender como os processos de criação, compartilhamento e aplicação do conhecimento, por parte da Gestão do Conhecimento, a atuarem como mecanismos que transformam o potencial humano em desempenho superior.

O artigo se divide em três partes: o referencial teórico que apresenta conceitos e definições do tema, juntamente com a metodologia empregada; os resultados e discussões que oferecem uma visão abrangente de autores que contribuíram com os principais conceitos e abordagens teóricas sobre gestão do conhecimento e ativos intangíveis; e a conclusão, que reafirma os resultados do estudo, as limitações da pesquisa e sugestões para futuros estudos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sociedade do Conhecimento e Gestão do Conhecimento

A sociedade do conhecimento tem o saber como principal recurso produtivo, impulsionada pelo avanço das tecnologias da informação e comunicação. Nesse cenário, a Gestão do Conhecimento (GC) ganha importância ao organizar processos voltados à criação e ao uso do conhecimento.

Nonaka e Takeuchi (1997) apresentaram o modelo SECI (Socialização, Externalização, Combinação e Internalização), que se tornou referência ao explicar como o conhecimento passa do tácito para o explícito e vice-versa. Estudos mais recentes ampliam essa perspectiva para o contexto da Transformação Digital, em que a chamada Gestão do Conhecimento 4.0 utiliza a Inteligência Artificial para apoiar a captura de conhecimento tácito.

A GC envolve processos sistemáticos de criação, compartilhamento e aplicação do conhecimento organizacional. O modelo SECI continua sendo uma das abordagens centrais para entender essa dinâmica e seu papel na inovação. Davenport e Prusak (1998) também destacam que a GC precisa estar alinhada à estratégia da organização, contribuindo para decisões mais consistentes e para a geração de valor.

Ativos Intangíveis e Capital Intelectual

Segundo Stewart (2002) e Santos (2018), ativos intangíveis são recursos que não têm forma física, mas geram benefícios econômicos futuros. Entre eles estão marcas, patentes, *softwares* e *know-how*. Uma de suas principais características é a dificuldade de mensurá-los e reproduzi-los, o que os torna importantes para a vantagem competitiva.



A literatura aponta que esses ativos:

- Estimulam a inovação organizacional
- Criam barreiras à entrada de concorrentes
- Aumentam a eficiência operacional
- Sustentam a diferenciação estratégica

Antunes (2000) também define ativos intangíveis como recursos não físicos capazes de gerar benefícios econômicos futuros, incluindo marcas, patentes e capital intelectual. O capital intelectual engloba:

- Capital humano
- Capital estrutural
- Capital relacional

Esses elementos são fontes estratégicas de valor e se relacionam diretamente com a capacidade inovadora das organizações.

Stewart (2002) afirma que o capital intelectual é a soma do conhecimento e da informação que a organização consegue usar para gerar valor e vantagem competitiva. Para ele, os ativos organizacionais se dividem em três categorias:

- **Capital Humano**: conjunto de competências, conhecimentos, criatividade e habilidades dos colaboradores. É o mais volátil, pois pertence às pessoas e não à empresa.
- **Capital Estrutural** (ou organizacional): inclui sistemas, bancos de dados, patentes, processos e a cultura organizacional. É o que permanece na empresa quando os funcionários saem.
- **Capital Relacional** (ou de Clientes): corresponde ao valor das relações da empresa com clientes, fornecedores e parceiros, além da lealdade à marca e da reputação de mercado.

Com base nisso, Stewart (1998) entende que as organizações devem direcionar esforços para produzir e gerir esse componente da cadeia de valor. Uma consequência desse movimento é a intensificação do controle do capital sobre a formação dos trabalhadores.

Visão Baseada em Recursos e Eficiência Organizacional

A Visão Baseada em Recursos (VBR) afirma que a vantagem competitiva vem da capacidade de identificar, manter e usar recursos que sejam valiosos, raros e difíceis de copiar. Assim, a eficiência resulta de uma gestão estratégica capaz de reconhecer, desenvolver e administrar recursos que atendam a esses critérios. Barney (1991) destaca que, na perspectiva da RBV, eficiência organizacional não significa apenas reduzir custos. Envolve transformar conjuntos de recursos diferentes entre si em resultados de alto valor.

Dentro desse contexto, os ativos intangíveis têm papel essencial na eficiência, pois contribuem para:

- Otimização de processos
- Redução de custos
- Diferenciação competitiva
- Inovação contínua



Organizações que tratam seus ativos intangíveis como elementos estratégicos tendem a ser mais eficientes. A gestão do conhecimento reduz redundâncias e acelera ciclos de inovação (ALI et al., 2021). Esse movimento também gera impacto social relevante, ao estimular ecossistemas de transferência de tecnologia, especialmente entre universidades e empresas, transformando conhecimento científico em desenvolvimento econômico e sustentável..

METODOLOGIA

Este estudo utiliza a metodologia de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), seguindo protocolos que asseguram rigor científico, transparência e possibilidade de reprodução do processo (Tranfield, Denyer & Smart, 2003).

A busca dos artigos científicos foi realizada em bases acadêmicas como *Scielo*, Periódicos CAPES, *ScienceDirect* e Google Acadêmico. Foram usados os descritores em português e inglês: "Gestão do Conhecimento", "Ativos Intangíveis", "Eficiência Organizacional" e "Capital Intelectual".

Os artigos encontrados foram analisados por meio da Análise de Conteúdo, método aplicável tanto a pesquisas quantitativas quanto qualitativas, ainda que com usos distintos (Bardin, 1987).

O protocolo adotado considerou: - Critérios de inclusão, como textos clássicos e artigos dos últimos 10 anos voltados à gestão e inovação; - Extração sistemática de informações; - método de pesquisa, país de origem e principais achados; - Análise de conteúdo para integrar os resultados.

Esse processo resultou no agrupamento de 45 artigos de alto impacto publicados em diversas revistas científicas. Após as análises, 8 (oito) trabalhos foram selecionados e incluídos na seção de resultados e discussão. Os dados foram examinados com base na análise de conteúdo, categorização temática e síntese narrativa (Bardin, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os oito artigos analisados mostram que a eficiência organizacional deixou de ser tratada como simples resultado da alocação de recursos físicos e passou a ser entendida como fruto da coordenação de ativos intangíveis. Há uma forte convergência na literatura sobre o papel estratégico do conhecimento e desses ativos.

A produção de artigos mais recente (pós-2020) tem dado destaque à Transformação Digital como impulsionadora dos intangíveis. O estudo de Secundo et al. (2020) ganha relevância quando o foco é entender como a inteligência artificial e os dados (conhecimento explícito digitalizado) influenciam a eficiência operacional.

O conhecimento aparece de forma consistente como o principal ativo intangível, essencial para inovação e vantagem competitiva. Guile (2008) aponta que o termo Economia do Conhecimento,



atribuído a Drucker (1993), descreve o uso de conhecimento de qualquer origem como motor do desenvolvimento econômico. Para isso, a Economia do Conhecimento se apoia no uso amplo de tecnologias de armazenamento e transmissão de dados e informação (Fingerl e Garcez, 2002).

A literatura atual, apoiada em revisões como a de Inkinen (2016), concorda que o Capital Intelectual é dinâmico e atua como motor de performance. Ainda assim, esses estudos mostram que sua relação com o lucro não é direta. Kianto, Sáenz e Aramburu (2017) aprofundam o tema ao demonstrar que são as práticas de GC (compartilhamento, criação e armazenamento) que "ativam" o capital intelectual. Sem gestão, o conhecimento humano permanece latente e não se converte em eficiência operacional.

Abubakar et al. (2019) e Ali et al. (2021) acrescentam que o Capital Intelectual funciona como mediador. Assim, investir em GC só gera eficiência quando a organização consegue transformar esse fluxo em ativos estruturais e relacionais sólidos. Além disso, o estilo de decisão dos gestores é decisivo para que o conhecimento disponível se transforme em performance superior, introduzindo um componente psicológico na gestão desses ativos.

Os estudos de Hussinki et al. (2017) e de Nadeem, Gan e Nguyen (2018), voltados para economias europeias e para os países dos BRICS, mostram que a eficiência do capital intelectual, geralmente medida pelo Coeficiente Intelectual de Valor Adicionado VAIC™ (*Value Added Intellectual Coefficient*) que é um modelo métrico desenvolvido por Pulic (2000) para medir a eficiência com que uma empresa utiliza o seu capital intelectual e financeiro para criar valor. O VAIC™ é uma ferramenta de gestão que transforma dados contábeis em indicadores de desempenho, focando no conhecimento como o principal ativo de uma organização, tende a ser mais resistente do que o capital financeiro em períodos de crise. Já Xu e Li (2019) demonstram que, mesmo em setores tradicionalmente dependentes de capital físico, como o marítimo, os ativos intangíveis — entre eles patentes e expertise logística — são os principais responsáveis pela margem de lucro líquido.

Secundo, Rippa e Cerchione (2020) avançam esse debate ao redefinir o Capital Intelectual no contexto das Smart Factories. Segundo eles, os modelos clássicos de Edvinsson e Stewart precisam ser revistos. Na Indústria 4.0, o Capital Estrutural passa a incluir algoritmos e sistemas ciberfísicos, enquanto o Capital Humano envolve novas competências, como a análise de grandes volumes de dados. Assim, a eficiência organizacional passa a depender diretamente da Transformação Digital do Capital Intelectual.

Dessa forma, os artigos apontam, como sintetizado no quadro 1, que a eficiência organizacional atual resulta de um fluxo contínuo: práticas de gestão do conhecimento → estoque de Capital Intelectual → vantagem competitiva. A literatura pós-2016 mostra que não basta deter conhecimento; o diferencial está em saber coordenar esses ativos intangíveis diante de mudanças tecnológicas e de mercado.

A literatura analisada mostra que a eficiência das organizações hoje está diretamente ligada à forma como elas gerem e transformam ativos intangíveis em resultados. O conhecimento, peça central da Economia do Conhecimento, torna-se um recurso estratégico para inovação e vantagem competitiva. Mas essa contribuição só se concretiza quando há práticas eficazes de gestão do conhecimento, capazes de transformar saberes individuais e coletivos em capital intelectual estruturado.

Quadro 1: Análise dos oito artigos consultados

Autores	Título	Tema
Inkinen (2016)	Review of empirical research on intellectual capital and firm performance	Revisão sistemática da literatura ligando ativos intangíveis à performance financeira.
Kianto et al. (2017)	Knowledge management practices and intellectual capital in knowledge - intensive firms	Como as práticas de GC alimentam o estoque de capital intelectual em empresas de tecnologia.
Hussinki et al. (2017)	Intellectual capital and firm performance: a European study	Análise da eficiência do capital intelectual em diferentes contextos econômicos europeus.
Abubakar et al. (2019)	Knowledge management, decision-making style and organizational performance	O papel mediador do estilo de decisão na relação entre GC e eficiência organizacional.
Xu & Li (2019)	The impact of intellectual capital on financial performance...	Estudo empírico sobre como o capital estrutural e humano gera eficiência em setores tradicionais.
Secundo et al. (2020)	Digital transformation of intellectual capital: an exploratory study of smart factories	A evolução dos ativos intangíveis no contexto da Indústria 4.0 e automação.
Ali et al. (2021)	The role of intellectual capital in the relationship between KM and organization performance	O Capital Intelectual como o elo que transforma processos de conhecimento em lucro.
Nadeem et al. (2018)	Does intellectual capital efficiency improve firm performance in BRICS economies?	Investigação sobre a eficiência do uso de intangíveis para competitividade em mercados emergentes.

Fonte: dos Autores

Nesse contexto, o capital intelectual funciona como um elo entre conhecimento e desempenho, influenciado tanto pelos sistemas organizacionais quanto pelas decisões de gestão. Com a Transformação Digital, essa relação se torna ainda mais intensa, já que algoritmos, dados, inteligência artificial e sistemas ciberfísicos passam a integrar o capital estrutural das organizações. Assim, a eficiência atual depende da combinação entre gestão do conhecimento, capital intelectual e adaptação tecnológica.

Sob a perspectiva da Visão Baseada em Recursos (RBV), cujo alicerce teórico remete aos trabalhos seminais de Jay Barney (1991) e Margaret Peteraf (1993), os ativos tecnológicos e o conhecimento não geram valor por si só, mas sim através de sua heterogeneidade e imobilidade estrutural no mercado. Para que o capital intelectual impulsionado pela Transformação Digital se converta em uma vantagem competitiva sustentável, ele deve atender aos critérios do Framework VRIO: ser Valioso



para neutralizar ameaças, Raro diante da concorrência, de difícil Imitação devido à sua complexidade causal e Organizado por meio de processos que permitam à firma explorar seu pleno potencial. Desse modo, algoritmos e sistemas ciberfísicos deixam de ser commodities tecnológicas e passam a configurar recursos idiossincráticos e socialmente complexos, conforme preconizado por Grant (1996) na vertente da Visão Baseada no Conhecimento (KBV).

Contudo, dado o caráter volátil e hipercompetitivo dos ecossistemas digitais, a rigidez de recursos estáticos é mitigada pela introdução da teoria de Capacidades Dinâmicas, proposta por David Teece, Gary Pisano e Amy Shuen (1997). Conforme argumentam Teece (2007) e Eisenhardt e Martin (2000), a eficiência organizacional contemporânea transcende a mera posse de ativos valiosos; ela reside na habilidade superior da firma de sentir (sensing), aproveitar (seizing) e reconfigurar (transforming) suas competências internas e externas face às rupturas tecnológicas. Portanto, a sinergia entre a governança algorítmica e a liderança analítica reflete a maturidade dessas rotinas dinâmicas, viabilizando a constante renovação do capital estrutural e garantindo a adequação evolucionária da empresa ao longo do tempo.

Quadro 2: Síntese dos Artigos consultados

Eixo analítico	Ideia central
Eficiência organizacional	Depende cada vez mais da gestão estratégica de ativos intangíveis, e não apenas de recursos físicos .
Conhecimento	Constitui ativo central da Economia do Conhecimento e base para inovação e competitividade.
Capital intelectual	Atua como motor de desempenho, mas precisa ser ativado por práticas de gestão do conhecimento.
Gestão do conhecimento	Transforma saberes individuais e coletivos em ativos estruturais, relacionais e operacionais.
Transformação digital	Redefine m o capital intelectual ao incorporar dados, algoritmos, IA e sistemas ciberfísicos.
Vantagem competitiva	A vantagem competitiva resulta da capacidade de orquestrar ativos invisíveis diante de mudanças tecnológicas e mercadológicas.

Fonte: dos Autores

O papel estratégico do conhecimento e dos ativos intangíveis na Transformação Digital surge como uma nova frente de análise. Na Indústria 4.0 e nas *Smart Factories*, o capital estrutural passa a incluir algoritmos, sistemas ciberfísicos e bases digitais de conhecimento. Já o capital humano requer habilidades voltadas à análise de dados e ao uso de inteligência artificial. Assim, a eficiência organizacional atual pode ser vista como o resultado de um fluxo contínuo entre gestão do conhecimento, formação de capital intelectual e geração de vantagem competitiva.



CONCLUSÃO

O estudo mostrou que a gestão do conhecimento e os ativos intangíveis são essenciais para a eficiência organizacional na economia atual. Os resultados indicam que organizações capazes de estruturar e integrar seus ativos intangíveis tendem a inovar mais e manter um desempenho sustentável. Também evidenciam que conhecimento e ativos intangíveis são fatores centrais de competitividade, influenciando diretamente a inovação e o desempenho organizacional. Uma gestão eficaz desses recursos aumenta a eficiência, a adaptabilidade e a sustentabilidade das organizações.

A revisão reforça que a gestão do conhecimento impulsiona a valorização dos ativos intangíveis e contribui para a eficiência organizacional. Os achados mostram que o valor de mercado das empresas modernas está ligado à capacidade de gerenciar capital humano e propriedade intelectual de forma coordenada. Como contribuição, o estudo consolida o estado da arte e destaca a importância de novas métricas que combinem indicadores qualitativos e financeiros.

Entre as limitações, destacam-se a heterogeneidade da literatura, a predominância de estudos teóricos e a falta de métricas consolidadas, especialmente devido às dificuldades de mensuração e às diferenças entre modelos teóricos.

Para pesquisas futuras, sugerem-se estudos empíricos quantitativos e o desenvolvimento de modelos de mensuração de ativos intangíveis que permitam aprofundar a relação entre transformação digital e gestão do conhecimento..

REFERÊNCIAS

ABUBAKAR, A. M., ELREHAIL, H., ALATAILAT, M. A., & ELÇI, A. Knowledge management, decision-making style and organizational performance. Journal of Innovation & Knowledge, 4(2), 104-114. 2019.

ALI, M. A., PUAH, C. H., MANSOR, S. A., & GEBREHIWOT, K. G. The role of intellectual capital in the relationship between knowledge management and organization performance. Journal of Intellectual Capital, 23(2), 221-245. 2021.

ANTUNES, Maria Thereza Pompa. Capital intelectual. São Paulo: Atlas, 2000.

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARNEY, J. B. Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, v. 17, n. 1, p. 99-120, 1991.

BELL, Daniel. O advento da sociedade pós-industrial. São Paulo: Cultrix, 1977.

CASTELLS, Manuel. A sociedade em rede. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

DAVENPORT, Thomas H.; PRUSAK, Laurence. Conhecimento empresarial. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

DRUCKER, Peter F. Sociedade pós-capitalista. São Paulo: Pioneira, 1993.

EISENHARDT, K. M.; MARTIN, J. A. Dynamic capabilities: what are they? Strategic Management Journal, v. 21, n. 10-11, p. 1105-1121, 2000.

FINGERL, E. R., & GARCEZ, C. M. D. A. Economia do conhecimento e a atuação do BNDES: considerando os intangíveis, 2002.

GRANT, R. M. Toward a knowledge-based theory of the firm. Strategic Management Journal, v. 17, n. S2, p. 109-122, 1996.

GUILE, David. O que distingue a economia do conhecimento? Implicações para a educação. Cadernos de Pesquisa, v. 38, n. 135, p. 611-636, 2008.

HENDRIKSEN, Eldon S. Teoria da contabilidade. São Paulo: Atlas, 1999.

HUSSINKI, H., RITALA, P., VANHALA, M., & KIANTO, A. (2017). Intellectual capital and firm performance: a European study. Journal of Intellectual Capital, 18(1), 9-22.



NKINEN, H. Review of empirical research on intellectual capital and firm performance. Journal of Intellectual Capital, 17(3), 418-465. 2016.

KIANTO, A., SÁENZ, J., & ARAMBURU, N. Knowledge management practices and intellectual capital in knowledge-intensive firms. Journal of Knowledge Management, 21(5), 1054-1070. 2017.

NADEEM, M., GAN, C., & NGUYEN, C. Does intellectual capital efficiency improve firm performance in BRICS economies? A dynamic panel estimation. Measuring Business Excellence, 22(1), 65-85. 2018.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. Criação de conhecimento na empresa. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

PADOVEZE, Clóvis Luís. Contabilidade gerencial. São Paulo: Atlas, 2010.

POLANYI, Michael. The tacit dimension. Chicago: University of Chicago Press, 1966.

PETERAF, M. A. The cornerstones of competitive advantage: a resource-based view. Strategic Management Journal, v. 14, n. 3, p. 179-191, 1993.

PULIC, A. VAIC™ – Value Added Intellectual Coefficient an accounting tool for IC management. International Journal of Technology Management, 20(5-8), 702-714. 2000. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1504/IJTM.2000.002891 Acessado em 2026.

SECUNDO, G.; RIPPA, P.; CERCHIONE, R. Digital Academic Entrepreneurship: A structured literature review and avenue for a research agenda. Technological forecasting and social change, v. 157, p. 120118, 2020.

SANTOS, José et al. Gestão de ativos intangíveis. São Paulo: Atlas, 2018.

SECUNDO, G., RIPPA, P., & CERCHIONE, R. Digital transformation of intellectual capital: an exploratory study of smart factories. Journal of Intellectual Capital, 21(4), 561-582. 2020.

STEWART, Thomas A. Capital intelectual. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

STEWART, T. A. A Riqueza do Conhecimento: o capital intelectual e a organização do século XXI. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge. British Journal of Management, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TEECE, D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. Strategic Management Journal, v. 28, n. 13, p. 1319-1350, 2007.

TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. Strategic Management Journal, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

Xu, J., & Li, J. The impact of intellectual capital on financial performance: evidence from the maritime industry. Journal of Intellectual Capital, 20(1), 2-17. 2019.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_10

DIFERENÇA DE GÊNERO NA LINGUAGEM: PERSPECTIVAS DA LINGUAGEM NEUTRA NO BRASIL E USO DE TODOS E TODAS COMO INCLUSÃO DE GÊNERO

Priscilla Chantal Duarte Silva
Universidade Federal de Itajubá
priscillachantal@unifei.edu.br

Luiz Augusto de Lima Ávila
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
luiz.avila@sga.pucminas.br

Fernando Eustáquio Guedes
Universidade Federal de Itajubá
fernando.guedes@unifei.edu.br

Fabiane Silva Barroso
Universidade Federal de Itajubá
fabiane.barroso@unifei.edu.br

RESUMO

A inclusão de gênero tem sido uma preocupação social na busca de se proporcionar e obter um ambiente inclusivo e igualitário independentemente do gênero ou identidade. A orientação de se implantar uma linguagem neutra trata-se de uma tentativa de extinguir possíveis estereótipos relacionados ao gênero identitário e promover igualdade de direitos humanos nos aspectos linguísticos. O objetivo deste estudo é discutir a funcionalidade da construção "todos e todas" como estratégia linguística de inclusão e visibilização de gênero no contexto dos debates contemporâneos sobre linguagem inclusiva no português brasileiro. Para isso, realiza-se uma revisão narrativa da literatura juntamente com uma base documental para mostrar o que a literatura e a legislação apontam sobre a implantação de uma linguagem neutra no Brasil. Os resultados evidenciam que, embora o masculino possua função gramatical generalizante no português, essa propriedade não implica necessariamente neutralidade cognitiva. A duplicação "todos e todas" amplia a visibilidade explícita do feminino, mas mantém uma representação binária de gênero e não contempla, por si só, identidades não binárias. Conclui-se que generalização gramatical, neutralidade cognitiva e inclusão sociolinguística constituem dimensões distintas, cuja relação depende de fatores linguísticos, discursivos, cognitivos e socioculturais.

Palavras-chave:
Linguagem inclusiva; Gênero gramatical; Masculino genérico; Linguagem neutra; Ideologias linguísticas.

ABSTRACT

: Gender inclusion has become an important social concern in efforts to promote inclusive and equitable environments regardless of gender or gender identity. The adoption of gender-neutral language has been proposed as a strategy to reduce potential stereotypes associated with gender identity and to promote greater equality in linguistic representation. This study aims to discuss the functionality of the expression "todos e todas" [all, masculine and feminine forms] as a linguistic strategy for gender inclusion and visibility within contemporary debates on gender-inclusive language in Brazilian Portuguese. To this end, a narrative literature review was conducted in conjunction with a documentary analysis in order to examine how the academic literature and Brazilian legislation address the implementation and use of gender-neutral language in Brazil. The findings indicate that, although masculine forms may perform a grammatical generic function in Portuguese, this property does not necessarily imply cognitive neutrality. The paired expression "todos e todas" increases the explicit visibility of the feminine form; however, it maintains a binary representation of gender and, by itself, does not encompass nonbinary identities. The study concludes that grammatical generalization, cognitive neutrality, and sociolinguistic inclusion constitute distinct dimensions whose interrelationships depend on linguistic, discursive, cognitive, and sociocultural factors.

Keywords:
Gender-inclusive language. Grammatical gender. Generic masculine. Gender-neutral language. Language ideologies.

INTRODUÇÃO

A forma de linguagem neutra tem como objetivo promover a inclusão, evitando a exclusão por meio de estruturas linguísticas que podem servir como marcadores de gênero, isto é, aquela que identifica explicitamente o gênero masculino e feminino, não contemplando outra possibilidade.

Neste estudo, “linguagem inclusiva de gênero” é empregada como categoria abrangente para diferentes estratégias destinadas a modificar a representação linguística de gênero. Dentro dessa categoria, distinguem-se estratégias de visibilização binária, como “todos e todas”, e estratégias de neutralização ou ampliação não binária, como neopronomes, novas marcações morfológicas ou recursos lexicais sem marcação explícita de gênero. Em princípio, a linguagem neutra busca incorporar pessoas de diferentes identidades de gênero no uso da língua, contrariando a divisão binária entre masculino e feminino. Isso ocorre porque o uso de formas genéricas masculinas, como "todos", pode excluir o feminino, não contemplando os pertencentes dessa classe e o uso de formas marcadas, como "ela" e "ele", pode deixar de fora quem não se identifica com a binaridade de gênero. Embora formas masculinas genéricas, como “todos”, possuam convencionalmente função generalizante e possam abranger grupos mistos, estudos psicolinguísticos têm questionado se essa abrangência gramatical corresponde necessariamente a uma representação cognitiva igualmente equilibrada entre os gêneros. Brohmer et al. (2024), em uma replicação multilaboratorial com 2.697 participantes, verificaram que formas linguisticamente inclusivas favoreceram maior evocação de referentes femininos do que o masculino genérico. De modo semelhante, Rothermund e Strack (2024) observaram que explicitar aos participantes a intenção genérica da forma masculina não foi suficiente para eliminar o viés de representação masculina, evidenciando que a interpretação cognitiva não decorre exclusivamente da função gramatical da expressão. Evidências neurocognitivas apresentadas por Glim et al. (2023) reforçam essa distinção ao mostrarem diferenças no processamento de referentes masculinos e femininos em função da forma linguística utilizada.



O desenvolvimento dessa linguagem está intimamente ligado ao movimento pelos direitos LGBTQIA+[1] que busca promover igualdade, visibilidade e respeito às variadas identidades de gênero.

O destaque para a neutralidade de gênero na linguagem ganhou força no final do século XX, com o aumento da conscientização sobre a diversidade de gênero. Pessoas não binárias e algumas pessoas transgênero podem não se reconhecer nas formas tradicionais de referenciação exclusivamente masculina ou feminina, recorrendo, em determinados contextos, a outras possibilidades linguísticas. Essa mudança de consciência é refletida na literatura de pesquisa, que tem explorado as nuances da representação de gênero na linguagem (Sczesny et al., 2016).

Por exemplo, um estudo descobriu que o uso de gênero gramatical em uma língua está associado a níveis mais baixos de igualdade de gênero social, sugerindo que a visibilidade das assimetrias de gênero na linguagem pode contribuir para as desigualdades na sociedade (Sczesny et al., 2016). Outro estudo encontrou que as pessoas tendem a falar sobre mulheres e homens de maneiras diferentes, revelando associações sutis de gênero embutidas na linguagem cotidiana (Chang McKeown, 2019; Newman et al., 2008).

Além disso, feministas têm impulsionado o debate sobre linguagem inclusiva, ao apontarem que o uso do masculino genérico (como "todos" para grupos mistos) é excludente e reforça a invisibilidade de mulheres e outras minorias.

No Brasil, a neutralização da linguagem inclui pronomes como "elu" em vez de "ele" ou "ela", e a adaptação de palavras que terminam em gêneros específicos (como "amigo" ou "amiga") para formas neutras, como "amigue". Alternativas como o uso de "x" e "@" também foram testadas, mas enfrentaram críticas por dificultarem a leitura e acessibilidade.

> No português brasileiro, tal fenômeno tem sido posto em prática principalmente de quatro maneiras, as duas primeiras atuando como formas de visibilização de gênero e as duas últimas como formas de neutralização. São elas: a) usar o feminino em substantivos comuns de dois gêneros, normalmente empregados no masculino independente do gênero da pessoa em questão, como, por exemplo, “presidenta” no caso em que se tratar de alguém que se identifica com o gênero feminino; b) empregar ambas as formas, masculina e feminina, como em “professores e professoras” ou “professores/as”, quando se tratar de um grupo misto de pessoas; c) substituir o que poderia ser compreendido como marcador de gênero no final de nomes e adjetivos por “x”, “@” ou “e”, como em “alunx”, “alun@” ou “alune”; e d) utilizar hiperônimos como “pessoas” e “indivíduos” em detrimento de formas marcadas (Seidel, 2021, p.2).

Estudos mais recentes têm mostrado, contudo, que as diferentes estratégias de neutralização ou explicitação de gênero no português brasileiro não se distribuem de forma aleatória. Ao analisarem usos de formas como @, x, -e e construções duplas em textos produzidos em ambientes digitais,

1. LGBT é uma sigla para Lésbicas, Gays, Bissexuais, e Transgênero. A sigla foi reconhecida após esforços de inúmeros movimentos ativistas, desde meados dos anos 80. Posteriormente, a sigla foi expandida, sendo usada como LGBTQIA+. Palavras como queer*, arco-íris* e ally* foram acrescentadas para abranger outras identidades. Sendo a primeira, com significado guarda-chuva para aqueles que se encontram em questionamento; a segunda para aqueles com tendência a mudanças de comportamento de contracultura e a terceira para aliados ou simpatizantes e apoiantes à causa (Mabiala e Paiva, 2023, p. 47-48)



Bentes, Borba e Cruz (2026) verificaram que essas variantes apresentam padrões relativamente organizados e discursivamente condicionados. Os autores argumentam que tais escolhas linguísticas podem indexar posicionamentos dos falantes em relação à representação equitativa de diferentes grupos, evidenciando que a discussão sobre gênero linguístico envolve não apenas a estrutura morfológica da língua, mas também práticas sociolinguísticas e ideológicas.

O uso da linguagem neutra continua a gerar debates, tanto na sociedade quanto na educação, sendo amplamente considerada uma forma de promover inclusão e respeito às diferentes identidades. O projeto de Lei n.º 5.385, de 04 de dezembro de 2020, no entanto, propõe vedar o uso da linguagem neutra na Educação por esse tipo de linguagem não possuir "[...] absolutamente nenhum embasamento científico" (Brasil, 2020). O que causa estranheza, a respeito, é o fato de ainda com a possibilidade de vedação, o uso do reforço "todos" e "todas" ser destaque na linguagem de alguns discursos.

> Art. 2º Fica vedado o uso da "linguagem neutra", do "dialeto não binário" ou de qualquer outra que descaracterize o uso da norma culta na grade curricular e no material didático de instituições de ensino públicas ou privadas, em documentos oficiais dos entes federados, em editais de concursos públicos, assim como em ações culturais, esportivas, sociais ou publicitárias que percebam verba pública de qualquer natureza (Brasil, 2020b).

Neste projeto, a linguagem neutra é vista como uma modificação do uso da norma culta da língua portuguesa, sendo considerada, portanto, uma violação aos padrões linguísticos já cristalizados cultura e socialmente. Sob esse aspecto, toda e qualquer modificação se aplica também ao uso de qualquer forma de generalização no intuito de reforçar uma possível diferença de gênero. Afinal, quando se emprega uma estratégia de duplicação masculino–feminino, como 'todos e todas', não ocorre propriamente neutralização da referência, mas explicitação das duas categorias de gênero tradicionalmente marcadas pela língua.

> Parágrafo Único – Para efeito desta Lei **entende-se por "linguagem neutra", toda e qualquer forma de modificação do uso da norma culta da Língua Portuguesa e seu conjunto de padrões linguísticos, sejam escritos ou falados** com a intenção de anular as diferenças de pronomes de tratamento masculinos e femininos baseando-se em infinitas possibilidades de gêneros não existentes, mesmo que venha a receber outra denominação por quem a aplica (Brasil, 2020b, grifo nosso).

Movimentos de ativistas, acadêmicos e linguistas passaram a investigar alternativas linguísticas que favorecessem uma maior inclusão, como a introdução de sufixos neutros (por exemplo, "todxs", "todes") ou a modificação das terminações de gênero em palavras, adotando formas que não se associem exclusivamente ao masculino ou feminino (como "amigues" em lugar de "amigos" ou "amigas"). Essas iniciativas vêm ganhando espaço em ambientes educacionais, institucionais e sociais, mas também enfrentam oposição, especialmente nos âmbitos político e acadêmico, onde se discutem a adequação e a viabilidade da linguagem neutra no português. O avanço da linguagem neutra no Brasil faz parte de um movimento global que busca ampliar a representatividade e a inclusão, influenciado por debates sobre linguagem inclusiva.

Esse debate não se restringe ao português brasileiro. Nas línguas românicas, cuja organização gramatical apresenta forte marcação de gênero, diferentes comunidades linguísticas vêm desenvolvendo estratégias de feminização, neutralização e ampliação das possibilidades de referência. A coletânea organizada por Silva e Soares (2024) evidencia que essas transformações têm

sido investigadas em diferentes línguas românicas e em contextos sociais e educacionais diversos, situando a discussão sobre inclusão linguística em uma perspectiva comparativa mais ampla.

A generalização para o uso do masculino é amplamente convencional. De acordo com Sczesny et al. (2016), uma assimetria quase universal e fundamental está no uso de formas masculinas genéricas. Substantivos de função masculina servem para designar grupos de gênero misto (como *einige Lehrer*, masc.pl 'vários professores', para um grupo de professores homens e mulheres).

Mais recentemente, Lange e von Stockhausen (2025), em revisão de 34 estudos sobre atitudes e uso da linguagem inclusiva de gênero, demonstraram que as escolhas linguísticas são influenciadas por um conjunto complexo de fatores sociais, cognitivos e ideológicos. Entre os resultados mais consistentes, as autoras identificaram as crenças sexistas como importantes preditoras de atitudes negativas e de menor utilização de formas inclusivas, além de evidenciarem a influência das normas sociais, da exposição prévia às formas linguísticas e do contexto sociopolítico. Esses resultados indicam que a aceitação ou rejeição da linguagem inclusiva não pode ser explicada exclusivamente pelas propriedades gramaticais das línguas.

Em Português, tem-se a mesma funcionalidade “os professores referindo-se à “o grupo de professores”, ou “o corpo docente” englobam professores do sexo masculino e professores do sexo feminino, isto é “Toda a classe de professores”. Assim, as formas masculinas não designam apenas homens, mas também grupos de gênero misto ou referentes cujo gênero é desconhecido ou não especificado (Stahlberg et al., 2007).

A possibilidade gramatical de referência genérica, entretanto, não implica necessariamente neutralidade na representação cognitiva dos referentes. Em uma replicação multilaboratorial realizada em 12 centros de pesquisa, com 2.697 participantes, Brohmer et al. (2024) verificaram que o emprego de formas linguisticamente inclusivas levou à evocação de uma proporção significativamente maior de mulheres do que o masculino genérico. Os resultados replicaram achados anteriores e permaneceram consistentes mesmo após o controle de outras variáveis, indicando que a interpretação psicolinguística do masculino genérico pode apresentar assimetria de gênero, ainda que sua função gramatical seja formalmente generalizante.

Entretanto, há também aqueles que a utilização de formas masculinas para representar a totalidade dos seres humanos está alinhada com a hierarquia de gênero tradicional, que atribui aos homens maior poder e um *status* social superior em comparação às mulheres (Ridgeway e Correll, 2004). Na Língua Portuguesa, o emprego do artigo definido antes do substantivo é mantido pela gramática tradicional. Logo, no sentido genérico, englobando um grupo ou “Todos”, seria agramatical dizer “A professor que se sentir ofendido, terá o o direito de fala resguardado”, obrigando nesse caso a empregar o artigo definido “O” para tratar do grupo inteiro.

A questão deste estudo, na verdade, traz à reflexão da real necessidade de se destacar, por exemplo, ambos os artigos definidos “O” e “A” como em: “O professor que se sentir ofendido” juntamente com e “A professora que sentir ofendida”, num mesmo discurso em que já se apresenta um contexto generalista. O mesmo quanto à utilização de “Todos” e “Todas”, no mesmo contexto. Como bem lembra Seidel (2021), muitas vezes o destaque do feminino faz ênfase a um contexto histórico-social, tal como foi o termo “presidenta”, usado pela ex-presidente Dilma Rousseff. Nesse caso, embora o uso “presidenta” já ter sido dicionarizado, foi empregado por ela para chamar a atenção de

anteriormente, na história do Brasil, nenhuma mulher ter sido eleita presidente. Isso mostra o quanto o destaque para o feminino foi utilizado mais como uma forma de levantar a discussão para a diferença de gênero.

Como ressalta a autora, O fato "parece ter aberto caminho para que, logo depois, fosse sancionada uma lei determinando que a profissão e o grau em diplomas passassem a ser flexionados conforme o gênero da pessoa" (Seidel, 2021, p. 3).

> Art. 1º As instituições de ensino públicas e privadas expedirão diplomas e certificados com a flexão de gênero correspondente ao sexo da pessoa diplomada, ao designar a profissão e o grau obtido (Brasil, 2012).

Contudo, o que se discute neste estudo não é o direito de ser considerado como "ele" ou "ela". No caso dos diplomas, a lei destaca o uso feminino ou masculino para as profissões como: confere a "NOME DA PESSOA" o grau de Advogado ou Advogada. Mas, ao fato de o uso de Todos e Todas ser amplamente ressaltado como um ato de inclusão, uma espécie de reforço. Sob esse aspecto, conforme aponta Volóchinov (2018), o signo linguístico é ideológico, pois caracteriza-se como realidade para além da materialidade fônica ou gráfica. É cercado de ideologia, pois "refrata tanto a realidade que designa quanto o ser que o utiliza" (Seidel, 2021, p. 7). O signo ideológico é qualquer fenômeno que possui significado e funciona como meio para transmitir ideias, valores e perspectivas ideológicas. Ele se manifesta nas várias formas de comunicação humana, como na linguagem, nas imagens, nos gestos e até em práticas culturais.

A partir daí as legislações têm abarcado a igualdade de gênero desde a priorização da igualdade de direitos e deveres pela Constituição a legislações mais recentes acerca do processo de inclusão social e de gênero na sociedade brasileira. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é apresentar, por meio da seleção de estudos por meio de uma revisão narrativa da literatura sobre o uso de pronome "Todos" e "Todas" como elemento linguístico de inclusão de gênero

2. O uso da flexão de gênero pela Gramática Tradicional da Língua Portuguesa

No contexto da gramática tradicional da língua portuguesa, a flexão de gênero tem sido amplamente discutida e analisada por estudiosos (Corrêa e Name, 2003). Assim como outras línguas românicas, o português possui um sistema de gênero que se manifesta através da concordância morfológica entre elementos sintáticos, como artigos, adjetivos e particípios.

Pesquisadores têm explorado a interação entre os aspectos gramaticais, textuais e sociais do gênero na linguística portuguesa. O foco das investigações tem sido a forma como os sistemas de processamento linguístico reconhecem e tratam a concordância de gênero gramatical, um processo sempre determinado pelo substantivo (Barros, 2010). Na perspectiva de Barros (2010), que há várias abordagens de estudos sobre gênero. Uma categoria aborda o gênero gramatical das línguas e suas correspondências semânticas com o gênero natural ou biológico dos seres no mundo. Uma segunda linha de estudos sobre o gênero foca no texto como um todo, buscando discutir, descrever e



estabelecer tipologias discursivas; enquanto uma terceira abordagem examina a relação entre linguagem e sociedade.

O gênero, enquanto categoria gramatical, é expresso formalmente pela referência pronominal, pela concordância do adjetivo (ou do verbo) e por afixos nominais, como prefixos, sufixos ou terminações de caso. Em Língua Portuguesa, o gênero é explicitamente previsto em duas categorias: masculino e feminino. A classificação se dá por exemplo: masculinos: *o sol, o filho;* femininos: *a flor, a casa*; epicenos: *machos* e *fêmeas* (jacaré fêmea); sobrecomuns: a criatura, a criança, a vítima, o cônjuge, o indivíduo. Neste último caso, ambos os gêneros estão contemplados, recebendo, portanto, a condição de generalização.

No latim, idioma de onde o português se originou, o gênero masculino era usado como o gênero padrão para expressar generalização. Essa prática foi adotada e mantida na evolução das línguas românicas, incluindo o português. O latim tinha três gêneros: masculino, feminino e neutro. Com o tempo, nas línguas românicas, o neutro desapareceu, e o masculino passou a desempenhar o papel de gênero "não marcado" ou "genérico". O neutro era usado para objetos inanimados e conceitos abstratos. Na medida que a palavra pertencia a uma determinada função na frase, recebia uma certa desinência de acordo com cada caso do Latim (sujeito, posse, objeto, circunstância, vocativo): 1. **Nominativo** (Sujeito da frase) Singular: ***Templum*** *est magnum.* ("O templo é grande") Plural: ***Templa*** *sunt magna.* ("Os templos são grandes"); **Genitivo** (Posse) Singular: *Porta* ***templi*** *est clausa.* ("A porta do templo está fechada") Plural: *Portae* ***templorum*** *sunt clausae.* ("As portas dos templos estão fechadas"); **Dativo** (Objeto indireto - para quem algo é dado) Singular: *Sacerdos* ***templum*** *deo dicat.* ("O sacerdote dedica o templo ao deus") Plural: *Sacerdotes* ***templa*** *deis dicant.* ("Os sacerdotes dedicam os templos aos deuses"); **Acusativo** (Objeto direto - quem recebe a ação) Singular: *Video templum.* ("Vejo o templo") Plural: *Video templa.* ("Vejo os templos"); **Ablativo** (Circunstância - local ou meio) Singular: *In templo sum.* ("Estou no templo.") Plural: *In* ***templis*** *sumus.* ("Estamos nos templos"); **Vocativo** (Chamamento ou invocação, raro para objetos inanimados) Singular: ***Templum!*** (invocativo neutro, sem equivalente exato em português, usado para chamar atenção para o templo de forma exclamativa). Plural: ***Templa!*** ("Ó templos!" – também uma forma exclamativa.)

No latim, o gênero neutro é um dos três gêneros gramaticais, ao lado do masculino e do feminino. Ele é usado para classificar substantivos que não são considerados nem masculinos nem femininos. Essa categoria não reflete o sexo biológico, mas a uma divisão gramatical usada para designar objetos inanimados, conceitos abstratos, ou mesmo coletivos. Nesse caso, a presença de uma desinência faz não só a marcação do gênero, mas também do singular e do plural. De acordo com a gramática tradicional do português, o gênero é uma categoria gramatical que organiza substantivos, pronomes, adjetivos e outros termos em masculino ou feminino. Cada palavra é atribuída a um desses gêneros, definidos por regras formais ou pelo uso consagrado. Diferente do latim, o português não possui um gênero neutro. Qualquer tentativa de se implantar um gênero neutro, tais como a proposta de “todes”, “alunx”, “alun@” ou “alune” modificaria a estrutura da língua.

A linguagem neutra substitui os artigos masculino e feminino pela letra “e” com o objetivo de tornar as palavras neutras. Em algumas situações, também é comum o uso do “x” ou do “@” para esse propósito. No caso dos pronomes pessoais, observa-se o uso do “u” para se referir a pessoas que não se identificam nem como homem nem como mulher, especialmente quando a letra “e” já está presente no pronome, como em “ele”. Um exemplo de como essa regra seria aplicada em uma frase é:



“Elu é bonite! A incorporação dessas formas, entretanto, apresenta resultados mais complexos do que uma simples oposição entre gramaticalidade e agramaticalidade. Osborne e Frangiotti (2025), em estudo com 248 falantes nativos e não nativos de português, verificaram que as formas não binárias apresentaram menor nível de compreensão do que formas binárias e convencionais. Apesar disso, foram mais aceitas e percebidas como mais utilizadas do que determinadas formas linguísticas não padrão. O estudo identificou ainda maior preferência pelo emprego de marcadores não binários em estruturas sintaticamente mais curtas, sugerindo que características do contexto linguístico podem favorecer ou dificultar sua incorporação ao uso.

Embora essas formas introduzam elementos inovadores no sistema pronominal e morfológico, dados recentes de uso indicam que sua incorporação não implica necessariamente uma reestruturação ampla do sistema de concordância. Ao analisarem 364 ocorrências de neopronomes em dados da rede social X, Silva e Carvalho (2024) observaram maior frequência do sistema “elu”, além de usos relevantes de neopronomes em referenciações genéricas capazes de recuperar identidades binárias e não binárias. Os autores identificaram, ainda, impacto relativamente reduzido dessas formas sobre o padrão de concordância nominal do português brasileiro.

Ainda que a tentativa de se implantar um gênero neutro seja uma forma de mudança na Língua e esta, por sua vez, é viva e sujeita a mudanças, qualquer alteração depende do uso na linguagem. Embora intervenções institucionais e disputas políticas possam influenciar atitudes, circulação e usos linguísticos, a estabilização de uma inovação no sistema depende de sua difusão, produtividade e recorrência nas práticas efetivas dos falantes. Carvalho e Abreu (2021) apontam que embora haja uma mesma língua no Brasil, há diferentes usos, que nem sempre são contemplados nas gramáticas tradicionais e tampouco ocorrem tão rapidamente na língua escrita.

Os estudos de Bernardi e Sella (2022) mostram que a referenciação dos pronomes pode ser recuperada pelo contexto e discurso. Embora, segundo as autoras, a Gramática Tradicional não considere o papel semântico do enunciado, elas apontam que em alguns casos é possível a identificação do sujeito. Em geral, os pronomes indefinidos, os quais abrangem **algum, nenhum, todo, outro, muito, pouco, certo, vários, tanto, quanto, qualquer, alguém, ninguém, tudo, nada, cada, demais, algo, quaisquer, ou ainda a locução prononominal indefinida cada um, cada qul, qualquer um, quem quer que, seja quem for** “são os que se aplicam à 3ª pessoa quando têm sentido vago ou exprimem quantidade indeterminada” (Bechara, 2009, p.168). Sendo assim, **Pronomes indefinidos** – são os que se aplicam à 3ª pessoa quando têm sentido vago ou exprimem quantidade indeterminada (ninguém, tudo, nada, algo, cada, alguém etc); O indefinido pode estender a sua significação a todos os **indivíduos de uma classe** *(Todos os homens são bons) Todo ser merece respeito (sentido de qualquer).*

A forma como os sistemas de processamento da linguagem identifica e lida com a concordância de gênero gramatical, um fenômeno que é universalmente controlado pelo substantivo, tem sido o foco de investigações acadêmicas. (Barros, 2010).

Ainda que as normas gramaticais tradicionais historicamente definam um sistema binário de gênero masculino e feminino no português, o discurso recente sobre a linguagem inclusiva de gênero tem buscado desafiar esses paradigmas tradicionais, refletindo mudanças sociais mais amplas na compreensão e representação da identidade de gênero (Schwindt, 2020). Propostas surgiram para introduzir novos marcadores morfológicos, como o uso das terminações -e ou -x, para acomodar um



espectro mais amplo de expressões de gênero (Schwindt, 2020). Para Carvalho e Abreu (2021), destacam que a forma masculina, na Língua Portuguesa, não é marcada como muitas pessoas acreditam. Afinal, a forma masculina se trata de uma forma geral e como não é marcada faz sentido utilizá-la para generalizações, como por exemplo, numa reunião composta por um homem e várias mulheres, é comum utilizar o masculino genérico para se referir a todos os presentes. Para as autoras, o que de fato fica marcado é feminino, quando se encontra a necessidade de destacá-lo.

Neves (2018) assume que os pronomes pessoais são palavras tipicamente referenciais e são, portanto, específicos ao fazerem referência a algo ou a alguém no discurso. No entanto, a autora considera que algumas formas de pronomes pessoais podem fazer referenciação genérica: a) terceira pessoa do plural masculino, com expressão do pronome eles; b) terceira pessoa do plural sem o pronome sujeito; c) terceira pessoa do singular sem sujeito expresso; d) terceira pessoa do singular com o pronome se junto de verbos que não se constroem como transitivos diretos; e) primeira e segunda pessoas do singular (quando os pronomes eu e você equivalem a qualquer pessoa); f) primeira pessoa do plural (caso em que, para a autora, a indeterminação não é total, já que em nós/a gente está sempre incluído o eu, que é determinado.

De acordo com a autora, a função dos pronomes indefinidos é não explicitar os respectivos referentes, que diz respeito a não apenas uma indefinição, mas também certa vaguidão na quantificação. Isso acontece em, por exemplo, “Jamais alguém viu aquele sujeito”, ou ainda, “Todo mundo merece respeito”, “Quem quer que seja o agressor”. Nesses casos, o referente não é definido, mas generalista, assim como também não quantificado. Em contrapartida, o uso de Todos e Todas em contextos como: “Boa noite a Todos e Todas aqui presentes!” tem como referente um conjunto de pessoas as quais aquele discurso se refere. Inclui um referente geral que engloba o conjunto independentemente se este é heterogêneo quanto ao gênero. Assim, em: “todos os alunos tem direitos e deveres”, do ponto de vista da gramática normativa, portanto, “todos” pode exercer função generalizante e incluir os integrantes de um grupo independentemente de seu gênero.

Essa propriedade gramatical, entretanto, deve ser distinguida de seus efeitos sobre o processamento e a representação mental dos referentes. Em dois experimentos pré-registrados, Rothermund e Strack (2024) demonstraram que tornar explícita e reiterar a intenção genérica da forma masculina não foi suficiente para eliminar o viés de representação masculina. Em contraste, informações contextuais que explicitavam a composição mista do grupo reduziram esse viés. Assim, a genericidade gramatical não deve ser tomada automaticamente como evidência de neutralidade cognitiva.

Evidências neurocognitivas também reforçam a necessidade de distinguir genericidade gramatical e neutralidade no processamento linguístico. Utilizando eletroencefalografia e potenciais relacionados a eventos, Glim et al. (2023) identificaram diferenças no processamento de referentes masculinos e femininos em função da forma linguística empregada. O masculino genérico favoreceu o processamento de referentes masculinos, enquanto a apresentação pareada feminino–masculino produziu uma tendência de processamento distinta. De modo particularmente relevante para a presente discussão, nenhuma das duas estratégias resultou em um padrão inicial plenamente equilibrado de representação de gênero.

Na constituição, Art. 5º, o uso de “Todos” é empregado com esse fim de generalização, mostrando a igualdade de direitos entre as pessoas. Destaca ainda, no inciso I, a equidade entre homens e mulheres chamando a atenção para a ênfase de igualdade de gênero em direitos e obrigações.



Nesse sentido, pois, observa-se que a inclusão é priorizada nos moldes da lei, seja no emprego da totalidade com o uso do termo “todos”, seja no reforço da explicitação no discurso com o uso de “homens e mulheres”.

> Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes:
> I - homens e mulheres são iguais em direitos e obrigações, nos termos desta Constituição (Brasil, 1988)

No discurso político, em geral, o reforço de Todos e Todas, embora pareça uma forma inclusiva, refere-se mais a uma redundância ou mesmo uma posição ideológica, deixando implícita a ideia de que há inclusão por parte de quem o empregam. Pode-se dizer que esse reforço está para além das posições partidárias; emprega no discurso ideologias linguísticas e representações sociais de gênero. Segundo Pêcheux (1988), todo discurso é ideológico e é no discurso que se pode observar a determinação dos sentidos. Porém, estes não podem ser atrelados somente aos significantes, mas constituídos a partir de posições ideológicas presentes no processo sócio-histórico.

O caráter ideológico das escolhas linguísticas, entretanto, não deve ser atribuído exclusivamente à adoção de formas inclusivas. As próprias avaliações sobre mudança linguística são atravessadas por ideologias acerca da língua e de seu funcionamento. Em estudo com 144 falantes brasileiros, Carvalho (2024) encontrou uma divergência entre atitudes e percepções relacionadas à linguagem não binária: atitudes de maior resistência mostraram-se associadas a ideologias linguísticas conservadoras, ao passo que determinadas percepções linguísticas apresentaram orientação mais progressista. O resultado evidencia que tanto a adesão quanto a resistência a formas emergentes precisam ser analisadas no interior de contextos sociais e ideológicos específicos.

A resistência às reformas linguísticas de gênero também não constitui um fenômeno homogêneo. Renström e Klysing (2025) demonstraram experimentalmente que diferentes usos de formas inclusivas podem mobilizar diferentes orientações ideológicas. Em seus estudos, concepções mais fortemente binárias de gênero e determinadas orientações vinculadas à defesa da tradição estiveram associadas a avaliações mais negativas de usos que explicitavam identidades para além do binário. Os resultados sugerem, portanto, que a recepção de formas inclusivas depende não apenas de sua configuração linguística, mas também da função discursiva que desempenham e das concepções sociais de gênero dos interlocutores.

No projeto de lei n.º 5.198, de 2020, evidencia-se o cunho ideológico da aplicação da linguagem neutra como uma violação às raízes históricas e identitárias da língua Portuguesa.

> **Na língua de uma nação nada se acresce pelo uso da força ou do enviesamento político-ideológico**. A língua e suas regras gramaticais amadureceram ao longo de séculos e continuam a evoluir, mas de modo lento e extensivamente refletido. Qualquer arroubo de opinião nesta seara não merece qualquer acolhida mais séria, sob pena de se corromper o liame comunicacional mais elementar de um povo: sua língua, o que faria jogar por terra todos os seus valores, identidade e história comum (Brasil, 2020c, grifo nosso)

De acordo com o estudo de Mabiala e Paiva (2023), a utilização de formas duplas tem sido o recurso mais indicado, adequado e eficaz para dar efeito de simetria dos dois gêneros masculino e feminino e aplicar uma linguagem neutra inclusiva. Os autores ressaltam que as línguas românicas têm

dificuldade em adotar uma abstração do gênero gramatical tendo em vista a termos morfológicos e à concordância. Logo, o uso de "o estudante e a estudante" ou "o candidato e a candidata" serão práticas comuns para se tentar incluir, na linguagem cotidiana, a todos que se sentem marginalizados. Entretanto, em termos de estrutura da língua, as propostas de gênero neutro para esse fim implicam numa reconstrução morfossintática, aliadas às questões discursivas, éticas e sociais.

Vale lembrar que a inclusão de gênero ultrapassa as barreiras linguísticas. Como destaca UN Women e United Nations Department of Economic and Social Affairs (2024), se não houver um esforço progressista não será possível atingir a igualdade de gêneros. A organização chama a atenção para atrasos em questões estruturais como leis, políticas e orçamentos sensíveis ao gênero. Continuam existindo a discriminação, sobretudo contra as mulheres que a impede de alcançarem condições de igualdade para com os homens. Ainda persiste a dificuldade do acesso das mulheres a posições políticas e de liderança, assim como sua capacidade de tomar decisões sobre sua saúde sexual e reprodutiva, como também a violência contra as mulheres é uma realidade eminente.

3. Como a legislação e a jurisprudência brasileiras têm tratado a igualdade de gênero e a linguagem neutra?

Na Constituição Federal, o princípio da igualdade está expresso no art. 5º, segundo o qual todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza. O inciso I do mesmo artigo explicita ainda que homens e mulheres são iguais em direitos e obrigações (Brasil, 1988). O emprego de "todos" nesse dispositivo constitui exemplo de utilização da forma masculina com valor referencial generalizante no discurso jurídico, ao passo que a explicitação posterior de "homens e mulheres" evidencia que generalização e explicitação de gênero podem coexistir em um mesmo texto normativo.

> Art. 5º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes: I – homens e mulheres são iguais em direitos e obrigações, nos termos desta Constituição (Brasil, 1988).

Ao longo das últimas décadas, diferentes decisões judiciais e atos normativos ampliaram a proteção jurídica relacionada à orientação sexual e à identidade de gênero no Brasil. Em 2011, o Supremo Tribunal Federal reconheceu juridicamente as uniões estáveis entre pessoas do mesmo sexo, e, em 2013, o Conselho Nacional de Justiça estabeleceu que os cartórios não poderiam recusar a celebração de casamento civil ou a conversão de união estável em casamento entre pessoas do mesmo sexo (Brasil, 2011; Conselho Nacional de Justiça, 2013).

Também no campo da proteção contra a discriminação, em 2019, no julgamento conjunto da Ação Direta de Inconstitucionalidade por Omissão n.º 26 e do Mandado de Injunção n.º 4.733, o Supremo Tribunal Federal reconheceu a omissão legislativa existente quanto à criminalização específica da homofobia e da transfobia e determinou, até que sobrevenha legislação autônoma, o enquadramento dessas condutas nos tipos previstos na Lei n.º 7.716/1989, que disciplina os crimes resultantes de preconceito e discriminação (Brasil, 2019).



Outro marco jurídico relacionado à identidade de gênero é o Decreto n.º 8.727/2016, que dispõe sobre o uso do nome social e o reconhecimento da identidade de gênero de pessoas travestis e transexuais no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. O Decreto define nome social como a designação pela qual a pessoa travesti ou transexual se identifica e é socialmente reconhecida e estabelece que os órgãos públicos federais devem adotá-lo, mediante requerimento da pessoa interessada (Brasil, 2016).

> Art. 1º Este Decreto dispõe sobre o uso do nome social e o reconhecimento da identidade de gênero de pessoas travestis ou transexuais no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional.
> Parágrafo único. Para os fins deste Decreto, considera-se:
> I – nome social – designação pela qual a pessoa travesti ou transexual se identifica e é socialmente reconhecida; e
> II – identidade de gênero – dimensão da identidade de uma pessoa que diz respeito à forma como se relaciona com as representações de masculinidade e feminilidade e como isso se traduz em sua prática social, sem guardar relação necessária com o sexo atribuído no nascimento (Brasil, 2016).

O Decreto determina ainda que a administração pública adote o nome social quando requerido e proíbe o uso de expressões pejorativas e discriminatórias para se referir a pessoas travestis e transexuais. A norma representa, portanto, instrumento jurídico de reconhecimento identitário e de proteção contra práticas discriminatórias.

Esse reconhecimento, entretanto, não deve ser confundido com neutralização linguística ou com modificação do sistema gramatical. O direito de uma pessoa ser identificada pelo nome social diz respeito ao reconhecimento jurídico e social de sua identidade, ao passo que a discussão sobre gênero gramatical, masculino genérico, formas duplicadas ou formas não binárias pertence a outro plano de análise. Reconhecimento identitário, igualdade jurídica e neutralização gramatical constituem, portanto, dimensões relacionadas, mas não equivalentes.

Especificamente em relação à linguagem neutra, diferentes projetos de lei foram apresentados no Congresso Nacional a partir de 2020. O Projeto de Lei n.º 5.198/2020 propõe vedar a instituições de ensino e bancas examinadoras de seleções e concursos públicos a utilização, em currículos escolares e editais, de novas formas de flexão de gênero e número consideradas contrárias às regras gramaticais consolidadas (Brasil, 2020a). O Projeto de Lei n.º 5.248/2020 estabelece o direito dos estudantes ao aprendizado da língua portuguesa de acordo com a norma culta e apresenta restrições à utilização da denominada linguagem inclusiva de gênero (Brasil, 2020b). Em sentido semelhante, o Projeto de Lei n.º 5.385/2020 propõe medidas de proteção ao aprendizado da língua portuguesa conforme a norma culta e contém previsão de proibição da denominada linguagem neutra em determinados contextos educacionais e institucionais (Brasil, 2020c).

É necessário destacar, contudo, que esses textos constituem projetos legislativos e não uma proibição federal atualmente vigente. O PL n.º 5.248/2020 encontra-se apensado ao PL n.º 5.198/2020, enquanto o PL n.º 5.385/2020 foi apensado ao PL n.º 5.248/2020, integrando o mesmo conjunto de proposições. Em março de 2026, foi designado novo relator para o PL n.º 5.198/2020 na Comissão de Administração e Serviço Público da Câmara dos Deputados. Assim, eventuais referências às restrições previstas nesses projetos devem ser compreendidas como propostas legislativas ainda em tramitação, e não como normas federais vigentes (Brasil, 2020a; Brasil, 2020b; Brasil, 2020c).



Paralelamente à tramitação dessas propostas no Congresso Nacional, o Supremo Tribunal Federal passou a construir jurisprudência específica acerca de leis estaduais e municipais destinadas a proibir o uso da linguagem neutra.

Em 2023, no julgamento da Ação Direta de Inconstitucionalidade n.º 7.019, o STF declarou inconstitucional a Lei n.º 5.123/2021 do Estado de Rondônia, que proibia a denominada linguagem neutra em instituições de ensino e em editais de concursos públicos. O fundamento central da decisão foi a invasão da competência legislativa da União para editar normas gerais sobre diretrizes e bases da educação nacional (Brasil, 2023).

Um aspecto especialmente relevante para esta pesquisa é que o próprio Supremo ressaltou que esse entendimento não correspondia a um julgamento acerca do conteúdo linguístico da linguagem neutra. A decisão concentrou-se na competência constitucional para legislar sobre educação. Dessa forma, declarar inconstitucional uma lei estadual que proíbe determinada forma linguística não significa reconhecê-la como integrante da norma-padrão, recomendá-la linguisticamente ou afirmar sua neutralidade gramatical ou cognitiva.

Essa orientação foi reafirmada em 2025. No julgamento da Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental n.º 1.165, o STF declarou inconstitucional parte de lei do Município de Uberlândia (MG) que proibia o uso da chamada linguagem neutra e de "dialeto não binário" na grade curricular e no material didático de instituições públicas e privadas de ensino. O Tribunal reafirmou que compete à União estabelecer as normas gerais sobre educação e ensino. No julgamento, também foi ressaltado que o ensino da língua portuguesa abrange o conhecimento de formas diversas de expressão e que uma proibição genérica dessa natureza poderia atingir a liberdade de expressão (Brasil, 2025).

Em 2026, o Supremo voltou a analisar o tema. Nas ADPFs n.º 1.150 e n.º 1.155, foram declaradas inconstitucionais leis dos municípios de Águas Lindas de Goiás (GO) e Ibirité (MG) que proibiam o emprego da linguagem neutra ou não binária em instituições de ensino. O STF reiterou que municípios não dispõem de competência legislativa para estabelecer normas próprias sobre currículos, conteúdos programáticos, metodologias de ensino ou formas de exercício da atividade docente em desacordo com as diretrizes nacionais definidas pela União (Brasil, 2026a).

No mesmo período, no julgamento da ADI n.º 7.644 e da ADPF n.º 1.159, o STF declarou inconstitucionais normas do Estado do Amazonas e do Município de Navegantes (SC) que também proibiam a utilização da linguagem neutra em instituições de ensino. A Corte reafirmou que compete à União estabelecer as bases estruturantes da educação nacional e que leis estaduais ou municipais não podem criar proibições relativas a conteúdos, métodos ou abordagens pedagógicas que integrem o âmbito das diretrizes educacionais nacionais (Brasil, 2026b).

A sequência dessas decisões permite identificar uma orientação jurisprudencial consistente: estados e municípios não podem estabelecer autonomamente proibições relativas ao emprego da linguagem neutra nos sistemas de ensino quando tais normas interferem nas diretrizes e bases da educação nacional. Isso não significa, entretanto, que o ordenamento jurídico federal imponha a utilização da linguagem neutra ou que o Supremo Tribunal Federal tenha decidido pela incorporação de neopronomes, novas terminações morfológicas ou outras formas não binárias à norma-padrão do português.



A distinção entre esses planos mostra-se fundamental para o problema analisado neste estudo. Uma decisão jurídica acerca da constitucionalidade de determinada proibição linguística não equivale a uma avaliação científica sobre gramaticalidade, compreensão, processamento cognitivo, convencionalização ou estabilização de determinada forma na língua. A questão jurídica envolve competências legislativas, direitos fundamentais, liberdade de expressão, liberdade de ensino e limites da atuação estatal; a questão linguística envolve o funcionamento gramatical, o processamento cognitivo, os usos discursivos e as práticas sociolinguísticas.

Desse modo, a análise da legislação e da jurisprudência converge com a distinção proposta neste trabalho entre diferentes níveis do fenômeno. Igualdade jurídica, reconhecimento identitário, inclusão social, generalização gramatical e neutralização linguística não constituem categorias intercambiáveis. A legislação pode assegurar igualdade e reconhecimento de identidade sem determinar a estrutura morfológica da língua; da mesma forma, a existência de uma forma gramatical convencionalmente generalizante não permite concluir, isoladamente, que ela seja cognitivamente neutra ou socialmente percebida como inclusiva.

4 . Metodologia

Realiza-se uma revisão narrativa da literatura, em que são selecionados estudos científicos que discutem a temática do uso da linguagem neutra no Brasil além de uma base de legislações acerca das decisões jurídicas e legislativas sobre a questão. A análise documental compreendeu normas constitucionais e infraconstitucionais, projetos de lei, atos do Conselho Nacional de Justiça e decisões do Supremo Tribunal Federal relacionados à igualdade, identidade de gênero, não discriminação e regulamentação do uso da linguagem neutra. Foram priorizados documentos disponíveis em fontes oficiais dos respectivos órgãos. Selecionam-se estudos que discutem e analisam a implantação de uma linguagem neutra no Brasil para a composição de uma análise linguístico-discursiva do uso do pronome indefinido Todos/Todas em gênero e número no Português brasileiro (PB). A seleção se deu por descritores, orientando a chave de busca: Todos e Todas AND linguagem neutra AND gênero neutro AND inclusão. Os artigos foram selecionados da plataforma Google Acadêmico, sob o filtro dos anos de 2019 a 2026 para obtenção de maior extensão, garantindo-se especificidade e sensibilidade da busca realizada sobretudo em Língua Portuguesa.

A busca em língua inglesa foi realizada utilizando-se a busca nas bases Scopus, Web of Science, Linguistics and Language Behavior Abstracts (LLBA), PsycINFO e SciELO, complementadas pelo Google Acadêmico, considerando publicações entre 2019 e 2026. Obras anteriores ao recorte temporal foram mantidas quando consideradas referências teóricas fundamentais para a descrição gramatical, a análise discursiva, a contextualização histórica ou a compreensão de estudos basilares sobre gênero e linguagem. A estratégia de busca combinou descritores em português e inglês relacionados à linguagem inclusiva de gênero e à representação linguística de gênero, incluindo *gender-inclusive language*, *gender-fair language*, *gender-neutral language*, *generic masculine*, *male bias*, *nonbinary pronouns*, *neopronouns*, *gender representation*, *gendered language*, *Brazilian Portuguese*. Foram priorizados artigos revisados por pares que investigassem aspectos gramaticais, sociolinguísticos, discursivos, psicolinguísticos ou cognitivos relacionados à representação de gênero na linguagem.



Foram considerados elegíveis estudos científicos publicados entre 2019 e a data final da busca em 2026, em português ou inglês, que abordassem aspectos gramaticais, sociolinguísticos, discursivos, psicolinguísticos ou cognitivos relacionados à representação de gênero na linguagem. A seleção contemplou pesquisas sobre o português brasileiro e investigações internacionais que contribuíssem para a compreensão comparativa das estratégias de linguagem inclusiva, especialmente quanto à interpretação do masculino genérico, à utilização de formas duplicadas e aos processos de compreensão e representação cognitiva dos referentes.

Foram priorizados artigos científicos revisados por pares, admitindo-se livros e capítulos acadêmicos pertinentes à fundamentação teórica. Publicações anteriores a 2019 foram mantidas quando apresentavam relevância conceitual, histórica ou teórica para a discussão do objeto investigado.

Como critérios de exclusão, consideraram-se publicações sem relação direta com o problema de pesquisa, estudos que abordassem a categoria gênero exclusivamente em perspectivas não relacionadas à linguagem, trabalhos que não apresentassem contribuição pertinente às dimensões linguísticas investigadas e registros duplicados. Também foram desconsiderados textos de natureza exclusivamente opinativa que não oferecessem fundamentação acadêmica suficiente para sustentar a análise. A seleção dos estudos internacionais considerou sua contribuição para a compreensão dos fenômenos investigados, sem pressupor a transferência direta de resultados obtidos em outras línguas para o português brasileiro, em razão das particularidades gramaticais, discursivas e socioculturais de cada contexto linguístico. Estudos internacionais foram incorporados para estabelecer uma perspectiva comparativa, especialmente quanto aos efeitos cognitivos do masculino genérico e das estratégias de linguagem inclusiva, evitando-se a transferência direta de seus resultados para o português brasileiro. Adicionalmente, foram realizadas buscas manuais e rastreamento de referências para identificação de estudos e capítulos recentes diretamente relacionados ao português brasileiro que não fossem recuperados pela estratégia principal de busca.

A seleção das publicações foi orientada pela pertinência temática em relação ao objetivo da investigação. Inicialmente, procedeu-se à identificação dos estudos potencialmente relevantes por meio dos resultados das buscas bibliográficas. Posteriormente, foram examinados os títulos, os resumos e, quando necessário, os textos completos, a fim de verificar sua contribuição para a discussão proposta. A seleção final considerou a relação dos estudos com o problema de pesquisa e sua contribuição teórica ou empírica para a compreensão das estratégias linguísticas de representação de gênero.

A análise da literatura foi organizada em eixos temáticos correspondentes às principais dimensões do fenômeno investigado: o funcionamento gramatical do masculino genérico no português brasileiro; a duplicação masculino–feminino como estratégia de visibilização de gênero; o processamento cognitivo e a representação mental dos referentes; as formas linguísticas não binárias e suas possibilidades de uso; e as dimensões discursivas e sociolinguísticas associadas à adoção de estratégias inclusivas.

A interpretação dos estudos buscou identificar aproximações e divergências entre as perspectivas teóricas e os resultados empíricos apresentados, distinguindo a generalização gramatical, a neutralidade cognitiva e a inclusão sociolinguística.



A análise documental compreendeu normas constitucionais e infraconstitucionais, projetos de lei, atos normativos do Conselho Nacional de Justiça e decisões do Supremo Tribunal Federal relacionados à igualdade, à identidade de gênero, à não discriminação e à regulamentação do uso da linguagem neutra no Brasil.

Foram considerados documentos jurídicos pertinentes ao problema de pesquisa, independentemente de sua data de publicação, de modo a contemplar tanto os fundamentos constitucionais e legais quanto os desdobramentos legislativos e jurisprudenciais mais recentes.

A análise documental foi orientada pela identificação do objeto, do conteúdo e da natureza jurídica dos documentos selecionados. Foram consideradas as disposições relacionadas à igualdade de direitos, ao reconhecimento da identidade de gênero, à utilização da linguagem neutra e aos limites da atuação estatal na regulamentação de práticas linguísticas.

Por se tratar de uma revisão narrativa da literatura, a investigação não teve como finalidade realizar o levantamento exaustivo de todas as publicações disponíveis sobre a temática, mas reunir e discutir contribuições teóricas e empíricas pertinentes ao problema de pesquisa.

5. Resultados e discussões

A análise dos estudos selecionados evidencia que a discussão acerca da inclusão de gênero na linguagem envolve diferentes níveis de funcionamento linguístico que não devem ser tratados como equivalentes. Os resultados da revisão apontam, particularmente, para a necessidade de distinguir a função gramatical das formas linguísticas, seus possíveis efeitos sobre a representação cognitiva dos referentes e as funções discursivas e sociolinguísticas decorrentes de seu emprego. Essa distinção mostra-se especialmente relevante para a análise das construções “todos” e “todos e todas”, uma vez que generalização gramatical, neutralidade cognitiva e inclusão sociolinguística constituem dimensões relacionadas, porém distintas.

Do ponto de vista do sistema gramatical do português, o masculino pode desempenhar uma função generalizante ou não marcada. Dessa forma, construções no masculino plural podem referir-se tanto a indivíduos do gênero masculino quanto a grupos compostos por pessoas de diferentes gêneros ou a referentes cujo gênero não esteja especificado. Essa possibilidade encontra respaldo nas descrições gramaticais e linguísticas discutidas por Bechara (2009), Neves (2018) e Carvalho e Abreu (2021), segundo as quais formas de referência genérica integram o funcionamento convencional do português. Assim, em construções como “todos os alunos”, o pronome “todos” pode, no plano gramatical, recuperar a totalidade dos integrantes do conjunto referido.

A propriedade gramatical de generalização, entretanto, não permite concluir automaticamente que a representação cognitiva produzida por essas formas seja igualmente neutra. Essa distinção constitui um dos resultados mais relevantes da literatura internacional recente recuperada nesta revisão. Brohmer et al. (2024), em uma replicação multilaboratorial envolvendo 2.697 participantes em países germanófonos, verificaram que formas linguisticamente inclusivas favoreceram maior evocação de referentes femininos em comparação ao masculino genérico. Os



resultados indicam que uma forma convencionalmente definida como genérica pode apresentar assimetrias quanto à representação mental evocada pelos falantes.

Na mesma direção, Rothermund e Strack (2024), em dois experimentos pré-registrados, demonstraram que tornar explícita e reiterar a intenção genérica de formas masculinas não foi suficiente para eliminar o viés de representação masculina. Em contrapartida, informações contextuais que explicitavam a composição mista dos grupos mostraram-se capazes de reduzir esse efeito. Os achados reforçam a participação do contexto no processamento das formas linguísticas e sugerem que a genericidade formal não deve ser tomada automaticamente como evidência de neutralidade cognitiva.

Evidências neurocognitivas também corroboram essa distinção. Utilizando eletroencefalografia e potenciais relacionados a eventos (ERP), Glim et al. (2023) identificaram diferenças no processamento de referentes masculinos e femininos após a apresentação do masculino genérico e de formas pareadas feminino–masculino. O masculino genérico favoreceu inicialmente o processamento de referentes masculinos, enquanto a forma pareada produziu um padrão distinto, associado a maior favorecimento de referentes femininos. Particularmente relevante para a presente discussão é o fato de nenhuma das duas estratégias ter produzido, nas fases iniciais do processamento investigadas, uma representação plenamente equilibrada entre os gêneros.

Cumpre ressaltar que esses estudos experimentais foram realizados principalmente em línguas diferentes do português brasileiro, particularmente em línguas germânicas. Seus resultados, portanto, não devem ser automaticamente generalizados para o PB. Sua contribuição para esta revisão reside em demonstrar, em perspectiva comparativa, que genericidade gramatical e neutralidade cognitiva constituem fenômenos distintos e que a relação entre ambos precisa ser investigada empiricamente em cada língua. Consequentemente, ainda são necessários estudos experimentais específicos que comparem, no português brasileiro, o processamento de formas como “todos”, “todos e todas” e outras estratégias de referenciação inclusiva.

A partir dessa diferenciação, torna-se possível compreender com maior precisão a função desempenhada pela construção “todos e todas”. A duplicação das formas masculina e feminina não constitui propriamente uma neutralização da marcação de gênero. Sua principal função consiste em tornar explicitamente visível o feminino na superfície discursiva. Em vez de depender exclusivamente da interpretação genérica do masculino, a construção explicita as duas categorias tradicionalmente marcadas pela língua, funcionando, portanto, como estratégia de visibilização binária de gênero.

Mabiala e Paiva (2023) destacam que formas duplas, como “o estudante e a estudante” ou “o candidato e a candidata”, têm sido utilizadas como recurso de promoção de maior simetria entre masculino e feminino, especialmente diante da forte marcação morfológica de gênero característica das línguas românicas. Sob essa perspectiva, construções como “todos e todas” podem desempenhar uma função pragmático-discursiva relevante, sobretudo quando o falante pretende explicitar a presença das mulheres em determinado grupo social.

Essa função, contudo, deve ser diferenciada da neutralização propriamente dita. A explicitação simultânea de masculino e feminino mantém estruturalmente uma representação binária. Assim,



ainda que “todos e todas” aumente a visibilidade discursiva do feminino quando comparado à utilização exclusiva de “todos”, a expressão não introduz uma categoria referencial que ultrapasse a oposição masculino/feminino e, portanto, não contempla, por si só, identidades não binárias.

Os resultados obtidos por Renström et al. (2024) oferecem respaldo comparativo a essa interpretação. Em três experimentos desenvolvidos com falantes de sueco e inglês, os autores verificaram que formas pronominais binárias pareadas podem continuar evocando associações normativas de gênero. Algumas formas não binárias, em contrapartida, apresentaram potencial de redução dessas associações, especialmente quando reconhecidas pelos participantes como formas efetivamente não binárias. Embora esses resultados não possam ser diretamente transferidos para o português, eles reforçam a necessidade conceitual de diferenciar visibilização do feminino, binarização e neutralização de gênero.

Essa diferenciação permite reinterpretar também a possível redundância de “todos e todas”.

Do ponto de vista estritamente referencial e gramatical, a forma feminina pode parecer redundante se “todos” já abrange convencionalmente os integrantes do conjunto. Embora possa ser considerada redundante do ponto de vista da extensão referencial, a duplicação pode desempenhar função pragmático-discursiva específica ao explicitar o feminino. No plano discursivo, entretanto, a duplicação acrescenta uma informação de outra natureza: não necessariamente modifica a extensão do referente, mas altera sua saliência discursiva ao tornar explicitamente presente uma categoria que permaneceria formalmente não mencionada no masculino genérico. Desse modo, inclusão referencial e visibilidade discursiva não são equivalentes.

Os estudos recentes sobre formas não binárias no português também demonstram que as propostas de neutralização não devem ser interpretadas simplesmente como formas aleatórias ou desprovidas de regularidade. Schwindt (2020) identifica diferentes estratégias de gênero inclusivo no português brasileiro, entre elas a duplicação masculino–feminino, a utilização de marcas como “x” e “@”, a ampliação da função de “-e” e alterações em pronomes e artigos. O autor evidencia que essas estratégias encontram diferentes possibilidades e limitações no próprio sistema linguístico, devendo ser analisadas à luz dos mecanismos morfológicos do português.

Osborne e Frangiotti (2025), em pesquisa com 248 falantes nativos e não nativos de português, verificaram diferenças nos níveis de compreensão, aceitação e percepção de uso das formas não binárias. Embora essas formas tenham apresentado menor compreensão do que construções convencionais em determinadas condições, sua aceitação não se mostrou uniforme e variou conforme fatores linguísticos e estruturais. Os resultados sugerem que a incorporação de novas formas constitui um processo gradual e sujeito a fatores como contexto, familiaridade e configuração sintática.

Da mesma forma, Silva e Carvalho (2024), ao analisarem 364 ocorrências de neopronomes em dados da rede social X, identificaram regularidades no emprego dessas formas, com predominância do sistema “elu” e ocorrência de usos genéricos capazes de recuperar identidades binárias e não binárias. Os autores observaram, ainda, impacto relativamente reduzido sobre o padrão de concordância nominal nos dados analisados. Esses achados são particularmente relevantes por demonstrarem que as novas formas podem ser investigadas a partir de ocorrências efetivas do português brasileiro, e não exclusivamente por meio de julgamentos prescritivos acerca de sua adequação.



Bentes, Borba e Cruz (2026) ampliam essa discussão ao situarem as formas de linguagem neutra no português brasileiro no âmbito das práticas sociolinguísticas e das ideologias linguísticas. Os padrões encontrados no emprego de estratégias como "@", "x", "-e" e formas duplicadas indicam que as escolhas dos falantes estão relacionadas aos contextos discursivos nos quais são produzidas e aos posicionamentos sociais que essas formas passam a indexar. Dessa maneira, o fenômeno não pode ser explicado exclusivamente pela estrutura morfológica da língua, uma vez que envolve simultaneamente uso, identidade, discurso e posicionamento social.

Isso não significa, contudo, que todas as propostas emergentes necessariamente serão incorporadas ou estabilizadas no português brasileiro. A mudança linguística depende de fatores como frequência de uso, produtividade, compreensão, circulação social e transmissão entre falantes. Os dados analisados permitem apenas afirmar que há usos emergentes passíveis de descrição e investigação empírica. A eventual estabilização dessas formas no sistema linguístico constitui uma questão distinta de sua existência e de sua utilização atual por determinados grupos.

Outro resultado relevante da revisão refere-se ao caráter ideológico das diferentes escolhas linguísticas. Na perspectiva de Volóchinov (2018), o signo linguístico participa das relações sociais e dos valores que circulam nas interações, enquanto Pêcheux (1988) ressalta que os sentidos são constituídos em determinadas condições sócio-históricas e ideológicas. Nesse sentido, o emprego de "todos e todas" pode funcionar discursivamente como índice de posicionamento do falante em favor da visibilização explícita do feminino.

Entretanto, os resultados mais recentes mostram que o caráter ideológico do fenômeno não deve ser atribuído exclusivamente à adoção das formas inclusivas. Carvalho (2024), em investigação com 144 falantes brasileiros, encontrou divergências entre atitudes e percepções relacionadas à linguagem não binária, observando que atitudes de maior resistência estiveram associadas a ideologias linguísticas mais conservadoras. Dessa forma, tanto a adoção quanto a rejeição das formas emergentes precisam ser compreendidas no interior de concepções socialmente construídas acerca da língua e de seu funcionamento.

A revisão de Lange e von Stockhausen (2025), baseada em 34 estudos, reforça essa interpretação ao demonstrar que a utilização e a avaliação da linguagem inclusiva são influenciadas por fatores como crenças sociais, normas do grupo, exposição às formas linguísticas e contexto sociopolítico. A aceitação ou rejeição das estratégias inclusivas, portanto, não pode ser explicada exclusivamente pela gramática das línguas.

Renström e Klysing (2025) também demonstram que a resistência às reformas linguísticas relacionadas a gênero não constitui um fenômeno homogêneo. As avaliações das formas inclusivas variaram em função de sua finalidade discursiva e das concepções sociais de gênero dos participantes. Esses resultados permitem compreender que tanto a inovação quanto a resistência à inovação linguística podem carregar valores e posicionamentos sociais.

Assim, não parece adequado considerar as formas inclusivas como escolhas ideologicamente marcadas e, simultaneamente, tratar a manutenção das formas tradicionais como uma posição necessariamente neutra. A forma masculina possui uma função generalizante convencionalmente estabelecida no sistema gramatical; sua escolha, entretanto, ocorre em situações concretas de



comunicação. Da mesma maneira, a duplicação masculino–feminino e as estratégias não binárias apresentam funções comunicativas específicas e podem adquirir significados sociais diferentes de acordo com os interlocutores e os contextos nos quais circulam.

A análise documental reforça igualmente que igualdade jurídica, inclusão social e neutralização gramatical constituem planos distintos. A Constituição Federal assegura igualdade de direitos, enquanto outras medidas legais reconhecem direitos relacionados ao nome social, à identidade de gênero e à proteção contra diferentes formas de discriminação. Essas garantias jurídicas não determinam diretamente a estrutura morfológica da língua, assim como a existência de uma forma gramaticalmente genérica não assegura, isoladamente, igualdade ou inclusão social.

A partir do conjunto dos estudos analisados, propõe-se, portanto, diferenciar três estratégias frequentemente reunidas sob a denominação ampla de linguagem inclusiva: a generalização gramatical, representada pelo masculino genérico, como em “todos”; a visibilização binária, representada pela duplicação “todos e todas”; e as estratégias de neutralização ou ampliação não binária, como aquelas que utilizam novas marcas morfológicas, neopronomes ou recursos lexicais destinados a evitar ou ultrapassar a oposição masculino/feminino. Essas estratégias não possuem a mesma estrutura nem produzem necessariamente os mesmos efeitos discursivos, cognitivos ou sociais.

A principal contribuição da presente análise consiste, assim, em evidenciar que generalização gramatical, neutralidade cognitiva e inclusão sociolinguística constituem dimensões distintas. “Todos” pode desempenhar uma função gramatical generalizante sem que essa propriedade permita pressupor neutralidade cognitiva; “todos e todas” pode aumentar a visibilidade discursiva do feminino sem constituir neutralização de gênero; e as formas não binárias podem ampliar possibilidades referenciais sem que sua emergência implique automaticamente sua estabilização futura no sistema linguístico.

Consequentemente, a questão não se reduz à escolha entre uma forma gramaticalmente tradicional e outra considerada universalmente inclusiva. Os estudos analisados apontam para um fenômeno multidimensional, situado na interface entre gramática, processamento cognitivo, discurso, ideologias linguísticas e práticas sociais. No caso específico de “todos e todas”, os resultados permitem caracterizar a expressão principalmente como uma estratégia discursiva de visibilização binária de gênero: ela explicita simultaneamente masculino e feminino, mas não constitui uma forma verdadeiramente neutra nem responde integralmente às demandas de representação de identidades não binárias.



Considerações finais

A análise desenvolvida neste estudo evidencia que a discussão sobre linguagem inclusiva de gênero no português brasileiro não pode ser reduzida à oposição entre formas gramaticalmente tradicionais e formas linguísticas consideradas inclusivas. Os resultados da revisão indicam que diferentes estratégias de referenciação de gênero desempenham funções distintas e precisam ser analisadas considerando, simultaneamente, aspectos gramaticais, cognitivos, discursivos e sociolinguísticos.

No que diz respeito ao masculino genérico, verificou-se que formas como “todos” possuem, no sistema gramatical do português, uma função convencionalmente generalizante e podem fazer referência a grupos compostos por indivíduos de diferentes gêneros. Essa propriedade formal, entretanto, não permite concluir que tais formas produzam necessariamente representações cognitivas neutras. Estudos psicolinguísticos e neurocognitivos recentes realizados em outras línguas indicam que formas gramaticalmente genéricas podem favorecer determinadas representações de gênero, evidenciando a necessidade de distinguir genericidade gramatical e neutralidade cognitiva.

A duplicação “todos e todas”, por sua vez, não se caracteriza propriamente como uma estratégia de neutralização de gênero. Sua principal função consiste em explicitar simultaneamente as categorias masculina e feminina, aumentando a visibilidade discursiva do feminino quando comparada ao emprego exclusivo do masculino genérico. Nesse sentido, a expressão pode ser compreendida mais adequadamente como uma estratégia de visibilização binária de gênero.

Essa explicitação, entretanto, permanece estruturada a partir da oposição masculino/feminino e, por isso, não contempla, por si só, identidades não binárias. Dessa forma, visibilização do feminino, neutralização de gênero e representação não binária constituem objetivos linguísticos distintos, que não devem ser tratados como equivalentes sob a denominação genérica de linguagem neutra.

Os estudos recentes sobre neopronomes e outras formas emergentes no português brasileiro também demonstram que essas inovações não podem ser consideradas simplesmente aleatórias ou incompatíveis com o funcionamento linguístico. Pesquisas baseadas em dados de uso, compreensão e atitudes dos falantes identificam regularidades, diferentes graus de aceitação e padrões de emprego que justificam sua investigação empírica. Isso não significa, contudo, que tais formas estejam estabilizadas ou que necessariamente venham a integrar de maneira permanente o sistema linguístico, uma vez que processos de mudança dependem de circulação, frequência, produtividade, compreensão e aceitação social.

Outro aspecto relevante evidenciado pela revisão refere-se ao papel das ideologias linguísticas. Tanto a adoção quanto a resistência às formas inclusivas ocorrem em contextos sociais específicos e podem refletir concepções acerca da língua, da mudança linguística, da identidade e das relações de gênero. Por essa razão, não parece adequado atribuir caráter ideológico exclusivamente às propostas de linguagem inclusiva, tratando as formas tradicionais como escolhas necessariamente neutras. Diferentes estratégias linguísticas podem adquirir significados sociais distintos conforme o contexto em que são utilizadas.

A análise permite, portanto, propor uma diferenciação entre três fenômenos frequentemente agrupados sob a denominação ampla de linguagem inclusiva: a generalização gramatical, exemplificada pelo masculino genérico; a visibilização binária, representada por construções como



“todos e todas”; e as estratégias de neutralização ou ampliação não binária, que procuram evitar ou ultrapassar a oposição exclusivamente masculino/feminino. Essas estratégias não são equivalentes do ponto de vista formal e tampouco produzem necessariamente os mesmos efeitos cognitivos, discursivos ou sociais.

A principal contribuição deste estudo consiste, assim, em evidenciar que generalização gramatical, neutralidade cognitiva e inclusão sociolinguística constituem dimensões distintas. “Todos” pode exercer função gramatical generalizante sem que isso assegure neutralidade cognitiva; “todos e todas” pode ampliar a visibilidade do feminino sem constituir uma forma neutra; e estratégias não binárias podem ampliar as possibilidades de representação sem que sua emergência implique, necessariamente, estabilização no sistema linguístico.

Dessa forma, a questão da inclusão de gênero na linguagem não pode ser resolvida pela identificação de uma única forma linguisticamente adequada ou universalmente inclusiva. Trata-se de um fenômeno multidimensional situado na interface entre gramática, processamento cognitivo, práticas discursivas, ideologias linguísticas e transformações sociais.

Como limitação, destaca-se que parte significativa das evidências experimentais sobre o processamento cognitivo do masculino genérico e das formas inclusivas provém de estudos realizados em outras línguas. Embora esses trabalhos forneçam importantes parâmetros comparativos, seus resultados não podem ser automaticamente generalizados para o português brasileiro.

Assim, estudos futuros devem investigar experimentalmente, no português brasileiro, os efeitos cognitivos e discursivos de diferentes estratégias de referenciação, especialmente comparando o masculino genérico, formas binárias duplicadas como “todos e todas” e estratégias não binárias. Pesquisas quantitativas e qualitativas sobre compreensão, processamento, atitudes, frequência de uso e percepção social dessas construções poderão contribuir para compreender de maneira mais precisa como diferentes formas linguísticas participam dos processos contemporâneos de representação e inclusão de gênero.



REFERÊNCIAS

BARROS, Dulce Elena Coelho. Gêneros gramatical, textual e social nos estudos linguísticos. Acta Scientiarum. Language and Culture, Maringá, v. 32, n. 2, p. 181–189, 2010. DOI: 10.4025/actascilangcult.v32i2.9950.

BECHARA, Evanildo. Moderna gramática portuguesa. 37. ed. rev., ampl. e atual. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2009.

BENTES, Anna Christina; BORBA, Rodrigo; CRUZ, Rafaely Carolina da. Gender-neutral Brazilian Portuguese: forms, uses, and ideologies. In: CARVALHO, Ana M.; OUSHIRO, Livia (ed.). The Oxford handbook of the Portuguese language. Oxford: Oxford University Press, 2026. p. 668–684. DOI: 10.1093/9780191954481.003.0040.

BERNARDI, Eviliane; SELLA, Aparecida Feola. Sujeitos pronominais genéricos e pronomes indefinidos em interações orais: casos de referência genérica ou indeterminada. Fórum Linguístico, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 8144–8156, 2022. DOI: 10.5007/1984-8412.2022.e80594.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. Decreto n.º 8.727, de 28 de abril de 2016. Dispõe sobre o uso do nome social e o reconhecimento da identidade de gênero de pessoas travestis e transexuais no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. Brasília, DF: Presidência da República, 2016.

BRASIL. Lei n.º 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1996.

BRASIL. Lei n.º 12.605, de 3 de abril de 2012. Determina o emprego obrigatório da flexão de gênero para nomear profissão ou grau em diplomas. Brasília, DF: Presidência da República, 2012.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei n.º 5.198, de 18 de novembro de 2020. Veda expressamente a instituições de ensino e bancas examinadoras de seleções e concursos públicos a utilização, em currículos escolares e editais, de novas formas de flexão de gênero e de número das palavras da língua portuguesa, em contrariedade às regras gramaticais consolidadas. Autor: Junio Amaral. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2020a.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei n.º 5.248, de 24 de novembro de 2020. Estabelece o direito dos estudantes de todo o Brasil ao aprendizado da língua portuguesa de acordo com a norma culta e orientações legais de ensino, e dá outras providências. Autor: Guilherme Derrite. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2020b.



BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei n.º 5.385, de 4 de dezembro de 2020. Estabelece medidas de proteção ao direito dos estudantes brasileiros ao aprendizado da língua portuguesa de acordo com a norma culta e orientações legais de ensino, na forma que menciona. Autora: Caroline de Toni. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2020c.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Ação Direta de Inconstitucionalidade n.º 7.019/RO. Relator: Ministro Edson Fachin. Tribunal Pleno. Julgamento finalizado em 10 fev. 2023. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2023.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental n.º 1.165/MG. Relatora: Ministra Cármen Lúcia. Tribunal Pleno. Julgamento virtual finalizado em 3 fev. 2025. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2025.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Ação Direta de Inconstitucionalidade n.º 7.644/AM. Relator: Ministro Flávio Dino. Tribunal Pleno. Julgamento virtual finalizado em 27 fev. 2026. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2026a.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental n.º 1.150/GO. Relator: Ministro Alexandre de Moraes. Tribunal Pleno. Julgamento virtual finalizado em 24 fev. 2026. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2026b.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental n.º 1.155/MG. Relator: Ministro Alexandre de Moraes. Tribunal Pleno. Julgamento virtual finalizado em 24 fev. 2026. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2026c.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental n.º 1.159/SC. Relator: Ministro Flávio Dino. Tribunal Pleno. Julgamento virtual finalizado em 27 fev. 2026. Brasília, DF: Supremo Tribunal Federal, 2026d.

BROHMER, Hilmar et al. Effects of the generic masculine and its alternatives in Germanophone countries: a multi-lab replication and extension of Stahlberg, Sczesny, and Braun (2001). International Review of Social Psychology, v. 37, n. 1, art. 17, 2024. DOI: 10.5334/irsp.522.

CARVALHO, Danniel. Atitudes e percepções sobre linguagem inclusiva e pronomes não-binários: um estudo diagnóstico com falantes brasileiros. Acta Scientiarum. Language and Culture, v. 46, n. 2, e70877, 2024. DOI: 10.4025/actascilangcult.v46i2.70877.

CARVALHO, Fabiana Gomes; ABREU, Maria Teresa Tedesco Vilardo. Flexão de gênero dos substantivos em língua portuguesa: análise comparativa: é só uma questão de gênero? Revista Coralina, Cidade de Goiás, v. 3, n. 2, p. 83–109, dez. 2021. DOI: 10.31668/coralina.v3i2.11656.

CHANG, Serina; MCKEOWN, Kathy. Automatically inferring gender associations from language. In: CONFERENCE ON EMPIRICAL METHODS IN NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NATURAL LANGUAGE PROCESSING (EMNLP-IJCNLP), 2019, Hong Kong. Proceedings [...] Hong Kong: Association for Computational Linguistics, 2019. p. 5746–5752. DOI: 10.18653/v1/D19-1579.

CORRÊA, Letícia M. Sicuro; NAME, Maria Cristina. The processing of determiner–noun agreement and the identification of the gender of nouns in the early acquisition of Portuguese. Journal of Portuguese Linguistics, v. 2, n. 1, p. 19–43, 2003. DOI: 10.5334/jpl.34.



GLIM, Sarah; KÖRNER, Anita; HÄRTL, Holden; RUMMER, Ralf. Early ERP indices of gender-biased processing elicited by generic masculine role nouns and the feminine–masculine pair form. Brain and Language, v. 242, art. 105290, 2023. DOI: 10.1016/j.bandl.2023.105290.

LANGE, Elena; VON STOCKHAUSEN, Lisa. What affects people's use of and attitudes toward gender-inclusive language? A literature review. Frontiers in Psychology, v. 16, art. 1657753, 2025. DOI: 10.3389/fpsyg.2025.1657753.

MABIALA, Joel Mateus Cabeia; PAIVA, Ariane Parente. Comunicação e inclusão: novos usos da língua para uma linguagem neutra. Revista Internacional em Língua Portuguesa, Lisboa, n. 43, p. 45–65, 2023. DOI: 10.31492/2184-2043.RILP2023.43/pp.45-65.

NEVES, Maria Helena de Moura. A gramática do português revelada em textos. São Paulo: Editora Unesp, 2018.

NEWMAN, Matthew L.; GROOM, Carla J.; HANDELMAN, Lori D.; PENNEBAKER, James W. Gender differences in language use: an analysis of 14,000 text samples. Discourse Processes, v. 45, n. 3, p. 211–236, 2008. DOI: 10.1080/01638530802073712.

OSBORNE, Denise Maria; FRANGIOTTI, Graziele Altino. Comprehension, acceptance and usage of nonbinary forms among Portuguese speakers. Revista da ABRALIN, [S. l.], v. 24, n. 1, 2025. DOI: 10.25189/rabralin.v24i1.2313.

PÊCHEUX, Michel. Semântica e discurso: uma crítica à afirmação do óbvio. Tradução de Eni Pulcinelli Orlandi et al. Campinas: Editora da Unicamp, 1988. 317 p.

RENSTRÖM, Emma A.; KLYSING, Amanda. Ideological origins of resistance against gender-inclusive language reforms: singular they as a de-gendering or multi-gendering strategy. Political Psychology, v. 46, n. 5, p. 1062–1080, 2025. DOI: 10.1111/pops.13058.

RENSTRÖM, Emma A.; LINDQVIST, Anna; KLYSING, Amanda; GUSTAFSSON SENDÉN, Marie. Personal pronouns and person perception: do paired and nonbinary pronouns evoke a normative gender bias? British Journal of Psychology, v. 115, n. 2, p. 253–274, 2024. DOI: 10.1111/bjop.12686.

RIDGEWAY, Cecilia L.; CORRELL, Shelley J. Unpacking the gender system: a theoretical perspective on gender beliefs and social relations. Gender & Society, v. 18, n. 4, p. 510–531, 2004. DOI: 10.1177/0891243204265269.

ROTHERMUND, Patrick; STRACK, Fritz. Reminding may not be enough: overcoming the male dominance of the generic masculine. Journal of Language and Social Psychology, v. 43, n. 4, p. 468–485, 2024. DOI: 10.1177/0261927X241237739.

SCHWINDT, Luiz Carlos. Sobre gênero neutro em português brasileiro e os limites do sistema linguístico. Revista da ABRALIN, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 1–23, 2020. DOI: 10.25189/rabralin.v19i1.1709.

SCZESNY, Sabine; FORMANOWICZ, Magda; MOSER, Franziska. Can gender-fair language reduce gender stereotyping and discrimination? Frontiers in Psychology, v. 7, art. 25, 2016. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.00025.

SEIDEL, Verônica Franciele. Linguagem neutra: uma análise baseada na teoria dialógica do discurso. Letrônica, Porto Alegre, v. 14, n. 4, e39869, 2021. DOI: 10.15448/1984-4301.2021.4.39869.

SILVA, Elaine Rodrigues de Souza; CARVALHO, Danniel da Silva. A utilização de pronomes não binários no português brasileiro: um estudo exploratório com dados da rede social X. Acta Scientiarum. Language and Culture, v. 46, n. 2, e71956, 2024. DOI: 10.4025/actascilangcult.v46i2.71956.

SILVA, Gláucia V.; SOARES, Cristiane (ed.). Inclusiveness beyond the (non)binary in Romance languages: research and classroom implementation. London: Routledge, 2024. 206 p. DOI: 10.4324/9781003432906.

STAHLBERG, Dagmar; BRAUN, Friederike; IRMEN, Lisa; SCZESNY, Sabine. Representation of the sexes in language. In: FIEDLER, Klaus (ed.). Social communication. New York: Psychology Press, 2007. p. 163–187.

UN WOMEN; UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. Progress on the Sustainable Development Goals: the gender snapshot 2024. New York: UN Women; UN DESA, 2024. 36 p. ISBN 978-92-1-106724-8.

VOLÓCHINOV, Valentin. Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem. 2. ed. Tradução, notas e glossário de Sheila Grillo e Ekaterina Vólkova Américo. São Paulo: Editora 34, 2018. 376 p.

DOI: http://doi.org/10.63951/synapse978-65-88890-66-0_11

AMBIVALÊNCIA E CORPO GROTESCO EM BAKHTIN: DO UNIVERSO RABELAISIANO ÀS TENSÕES DO CORPO CONTEMPORÂNEO

Rita Araújo Cosenza
Universidade Federal de Itajubá
rita.ar.cosenza@unifei.edu.br

Priscilla Chantal Duarte Silva
Universidade Federal de Itajubá
priscillachantal@unifei.edu.br

RESUMO

Este artigo aborda a concepção do corpo ambivalente a partir da leitura de Mikhail Bakhtin sobre a cultura cômica popular medieval e renascentista e sobre o corpo grotesco presente na obra de François Rabelais. Objetiva analisar o corpo como unidade múltipla, heterogênea, inacabada e integrada às dimensões social, natural e cósmica, relacionando essa perspectiva às formas contemporâneas de compreensão e representação corporal. Metodologicamente, o estudo caracteriza-se como ensaio teórico de natureza bibliográfica e interpretativa, fundamentado principalmente em Bakhtin (1987), em diálogo com autores como Elias, Foucault, Freud e estudos contemporâneos sobre corpo e transgressão. Os resultados da análise evidenciam que, no realismo grotesco, o corpo é concebido como aberto, mutável e regenerador, no qual vida e morte, alto e baixo, individual e coletivo coexistem de maneira ambivalente. Verifica-se que os processos de individualização e civilização posteriores ao Renascimento contribuíram para enfraquecer essa visão, favorecendo concepções mais dualistas, normativas e idealizadas do corpo. Conclui-se que a noção bakhtiniana de ambivalência permanece relevante para a compreensão crítica das múltiplas formas contemporâneas de corporalidade, por possibilitar reconhecer o corpo como histórico, cultural, relacional, contraditório e permanentemente inacabado.

Palavras-chave:
Bakhtin; Corpo ambivalente; Corpo grotesco; Realismo grotesco; Cultura cômica popular.

ABSTRACT

This article examines the concept of the ambivalent body through Mikhail Bakhtin's interpretation of medieval and Renaissance popular comic culture and the grotesque body in the works of François Rabelais. It aims to analyze the body as a plural, heterogeneous, unfinished entity integrated into social, natural, and cosmic dimensions, relating this perspective to contemporary forms of understanding and representing the body. Methodologically, the study is characterized as a theoretical essay grounded in bibliographic and interpretive analysis, drawing primarily on Bakhtin (1987) and engaging in dialogue with authors such as Elias, Foucault, and Freud, as well as with contemporary studies on the body and transgression. The analysis shows that, within grotesque realism, the body is conceived as open, mutable, and regenerative, with life and death, high and low, and the individual and the collective coexisting ambivalently. It also indicates that the processes of individualization and civilization that developed after the Renaissance contributed to weakening this perspective, favoring more dualistic, normative, and idealized conceptions of the body. The article concludes that Bakhtin's notion of ambivalence remains relevant to a critical understanding of the multiple forms of contemporary embodiment, as it enables the body to be understood as historical, cultural, relational, contradictory, and perpetually unfinished.

Keywords:
Bakhtin; Ambivalent body; Grotesque body; Grotesque realism; Popular comic culture.

INTRODUÇÃO



Este artigo parte de uma das obras de Mikhail Bakhtin (1895-1975), *"A Cultura Popular na Idade Média e no Renascimento: O contexto de François Rabelais"* (1987). Destaca a interpretação sobre uma das caracteristicas da Cultura Popular, sua ambivalência. E destaca a interpretação desses traços ambivalentes, resgatando significados históricos, de certo modo de perceber a vida humana; e significados de epistemologias, que se construiram e se transformaram, ao longo de longos tempos históricos. Traços ambivalentes de uma cultura de outrora, que de experiencia vivida, tornou-se tradição viva, tradição em luta pela existência, progressivamente obscurecida, substituindo seus traços ambivalentes, por concepções dualistas.

Embora a concepção do corpo grotesco encontre desenvolvimento privilegiado no estudo de Bakhtin sobre Rabelais, a corporeidade atravessa diferentes momentos de sua produção intelectual. McCaw (2022), ao percorrer escritos bakhtinianos produzidos entre as décadas de 1920 e 1970, demonstra que corpo, imagem e diálogo participam de uma questão mais ampla acerca das formas pelas quais os sujeitos compreendem a si mesmos e aos outros.

Nos ultimos tempos, já se observa um movimento contrário. Buscas por substituir as concepções dualistas, por novos traços de ambivalências, que vêem sendo resgatados, mas ainda se expressam, obscurecidos pelos pensamentos duais naturalizados; demandando acionar o pensamento mais voluntário e consciente, para ser possível lembrar e se atentar aos traços ambivalentes da vida. Assim, enquanto Bakhtin (1987), resgatou caracteristicas da cultura popular, para entender a fonte original de Rabelais (1483/1494-1553), e melhor compreende-lo, em seu tempo; aqui, neste artigo, visa-se resgatar uma dessas caracteristicas, a ambivalencia, para destacá-la como conteúdo essencial da cultura popular de outrora, que manteve-se como um dos traços corporais/ mentais, impactanto a vida humana, ainda que de modos mais implícitos. O que trás o corpo, para a discussão; mas aqui, abordado apenas como ponto subsidiário às atenções necessárias, para se pensar, em um de seus traços, a ambivalencia.



Para melhor traduzir, em palavras, essas perspectivas, objetivadas de se pensar, primeiro, sintetizou-se alguns pontos analisados por Bakhtin (1987), sobre a relação, percebida por ele, entre Rabelais e a Cultura Cômica Popular, ainda viva no século XVI. Desta relação, ele destacou o riso e suas formas de expressão, apontando algumas de suas características, como seu caráter universal, ambivalente, inacabado, imperfeito, mas utópico; portador de estima pela liberdade e renovação do todo, sem regras e sem hierarquias; comunicação verbal específica, de uma verdade popular não-oficial. Dessas caracteristicas, como já dito, centrar-se-á no teor de ambivalencia. Antes, sintetizou-se pressupostos de Bakhtin, que buscou entender Rabelais, em seu contexto vivido, e as críticas, que sua obra teve, após seu tempo, para perceber sua relação, com processos de intersubjetividades, tradições, mudanças reflexivas, acusações e condenações à heresia, no século XVI.

Nisso, optou-se por amparar as reflexões, em três outros autores: Schutz (1979), Giddens (1991) e Ginzburg (2004). Em sequencia, sintetizou-se a interpretação de Bakhtin sobre a trajetória da cultura cômica popular, correlacionado-a, com algumas mudanças históricas, que marcaram início e final da Idade Média, de modo a apreender melhor, a progressiva separação da cultura cômica, da cultura oficial do Estado e da Igreja feudal; e o processo de construção de um novo padrão de exigências e proibições; o que remete a Nobert Elias (1994) e às relações entre verdade e poder, de Michael Foucault (2004), a partir da época, em que o dito insano, surge em um contexto de forte transformação, do que, até então, tinha-se in**corpo**rado, enraizado; e se manterá, até os atuais dias, como heranças dos valores e habitus, da idade médida; que em seu declínio, junto das pestes, mata e renasce, no ambito de mentalidades confusas, "emabaraçadas". Há mortes, há ditas heresias e insanos; mentalidades se transformando. Ambivalencias e dualidades passam a coexistir. O individuo, que surge neste contexto, e transita mundos vastos e diversos, até o caminho dos tempos atuais, trás em seu corpo, conteúdos duais e ambivalentes, das culturas passadas. Assim, frisa-se as trajetorias dos teores corporais/ mentais, duais e ambivalentes, de pensar e agir.

Em cada uma dessas sequencias, de sínteses e análises, de partes cruciais da obra de Bakhtin, buscou-se destacar, a questão dos traços de ambivalencia, tecendo-a, não como conceito ou noção; mas como característica inCORPOrada nos corpos humanos, e como modo epistemologico, de pensar o corpo vivo, emaranhado, em suas culturas.

Estudos contemporâneos têm retomado a necessidade de recuperar o sentido específico do grotesco na obra bakhtiniana. Leite (2023) observa que a ampla utilização dos conceitos de realismo grotesco e corpo grotesco nas Ciências Humanas torna necessária a retomada de sua gênese e de sua função no pensamento de Bakhtin, evitando que sucessivas ressignificações afastem esses conceitos de seus fundamentos teóricos originais.

Embora a literatura tenha discutido o realismo grotesco, o corpo grotesco, a transgressão e a dimensão dialógica da corporeidade em Bakhtin, permanece espaço para investigar a ambivalência como categoria interpretativa das tensões presentes nos discursos contemporâneos sobre corpo, estética, normalidade e transformação corporal.

Diante dessas considerações, coloca-se a seguinte questão de pesquisa: em que medida a concepção bakhtiniana de corpo grotesco e ambivalente permanece produtiva para compreender as formas contemporâneas de constituição, percepção e representação do corpo? Estudos recentes demonstram que o conceito bakhtiniano de grotesco continua sendo mobilizado para a análise de representações corporais contemporâneas. Mello (2025), ao examinar produções artísticas de

Fernanda Magalhães e Laura Aguilar, utiliza o grotesco para compreender modos pelos quais corpos historicamente classificados como anormais ou desviantes podem ser ressignificados, tornando-se espaços de visibilidade, contestação e produção de novos sentidos.

Parte-se da compreensão de que, embora o corpo grotesco analisado por Bakhtin esteja vinculado a um contexto histórico específico, marcado pela cultura cômica popular da Idade Média e do Renascimento, algumas de suas características — como o inacabamento, a abertura, a transformação e a coexistência de polos contraditórios — podem oferecer uma chave interpretativa para problematizar concepções contemporâneas de corpo. Nesse sentido, busca-se examinar em que medida a ambivalência, tal como formulada no universo rabelaisiano, pode contribuir para a reflexão sobre discursos atuais que tendem, por vezes, a representar o corpo de maneira mais individualizada, normativa e dual.

2. Imagens Rabelasianas: Cultura Comica Popular, unitária, na sua diversidade

Em um de seus estudos, Bakhtin (1987), analisou a obra de François Rabelais, que foi padre, médico e escritor, francês. Reconhecido, compreendido e apreciado, em seu tempo, tanto pelos *"humanistas, nas cortes e nos estratos mais altos da burguesia urbana"*, quanto pelas *"grandes massas populares"*. Foi um dos criadores da literatura européia, junto de Boccaccio, Shakespeare e Cervantes; inovou e influenciou, de modo decisivo, na trajetória da literatura mundial; em particular, francesa. Singularizou-se, sobretudo, pelo fato de ter sido, *"ligado mais profunda e estreitamente que os outros às fontes populares"*, que *"determinaram o conjunto de seu sistema de imagens"* (op. cit., p. 2). O uso destas fontes deu à sua obra, um caráter popular. Mas, o que era essa cultura popular, na época vivida por Rabelais? Essa foi a indagação, que norteou a compreensão de Bakhtin sobre as imagens rabelaisianas.

A tese defendida por Bakhtin, é que muitos críticos literários entenderam a obra de Rabelais, marcada por um aspecto não-literário, por desconsiderarem que, a natureza de suas imagens não pode ser lida, através dos cânones e regras, da arte literária, vigentes a partir do século XVI. A essência da cultura cômica popular não foi evidenciada pois, os estudos foram comumente feitos *"à luz das regras culturais, estéticas e literárias da época moderna, isto é, medidos não de acordo com suas próprias medidas, mas segundo as da época moderna que nada têm a ver com eles"* (Bakhtin, 1987, p. 16). As imagens cômicas da cultura popular, devido ao caráter *"unitário na sua diversidade"*, possuem uma singularidade histórica, que as localizam com certa distância dos *"tempos modernos (sobretudo ao século XIX)"* (op. cit.).

Para compreender as imagens rabelaisianas, Bakhtin propôs partir da cultura, que Rabelais vivenciou; o que pode ser feito, pela sua obra, que *"se convenientemente decifrada, permite iluminar a cultura cômica popular de vários milênios, da qual Rabelais foi o eminente porta-voz na literatura"* (op. cit., p. 3). O objeto de Bakhtin foi a obra de Rabelais e não a cultura popular, que é "infinita e... extremamente heterogênea nas suas manifestações" (op. cit., p. 50). Da cultura popular, visou *"revelar a unidade, o sentido e a natureza ideológica profunda dessa cultura, isto é, o seu valor como concepção do mundo e o seu valor estético"* (op. cit.). Para isso, apreendeu necessário:

> Transportar-se ao próprio terreno onde foi recolhida essa cultura, onde ela foi concentrada e interpretada literariamente, na etapa superior do Renascimento; em outras palavras, transportar-nos à obra de Rabelais... insubstituível, quando se trata de penetrar na essência mais profunda da cultura cômica popular. No mundo criado por ele, a unidade interna de todos os elementos heterogêneos revela-se com excepcional clareza, de tal forma que sua obra constitui uma enciclopédia da cultura popular (Bakhtin, 1987, p. 50).

O método histórico-alegórico utilizado por Rabelais, se explica pois suas fontes foram tradição viva, desempenhando, *"papel de comentário vivo, acessível a todos",* que começou a desaparecer, somente após o século XVI, quando a *"verdadeira chave artística e ideológica das imagens rabelaisianas perde-se, juntamente com as tradições que deram origem"* (op. cit., p. 98).

A cultura cômica popular foi, um dia, imemorial, e se transformou, da Idade Média ao Renascimento, em uma cultura específica da praça pública, de caráter não-oficial, vasta mas una. Algumas de suas formas de expressão foram ritos e espetáculos; vocabulário familiar; obras cômicas verbais, orais e escritas, em latim ou língua vulgar. Entre ritos e espetáculos, haviam festejos do carnaval, com sua comicidade, que *"enchiam as praças e as ruas durante dias inteiros"*. Havia a *"festa do tolo"*, a *"festa do asno"*, o *"riso pascal"*, cada qual, constituída por uma complexa estrutura simbólica. Também nos ritos civis da vida cotidiana, o riso se fazia presente:

> Bufões e os 'bobos' assistiam sempre às funções do cerimonial sério, parodiando seus atos (proclamação dos nomes dos vencedores dos torneios, cerimônias de entrega do direito de vassalagem, iniciação dos novos cavaleiros, etc.). Nenhuma festa se realizava sem a intervenção dos elementos de uma organização cômica (Bakhtin, 1987, p. 4).

Não obstante, os ritos e os espetáculos, *"organizados à maneira cômica",* se apresentavam de modo notavelmente diferente dos cultos e das cerimônias *"oficiais sérias da Igreja ou do estado feudal"*. Expressavam uma outra visão de mundo, o que foi criando uma dualidade que, sem ser considerada, impossibilita a compreensão da consciência cultural da Idade Média e da civilização renascentista. A literatura recreativa se desenvolveu *"durante todo um milênio e mais ainda, se considerarmos que seus começos remontam à Antiguidade cristã"* (op. cit, p. 12). Sua apoteose foi no apogeu do Renascimento. Mas, Desde a Idade Média, permeou o pensamento, por uma cultura viva, que: *"não apenas os escolares e os clérigos, mas também os eclesiáticos de alta hierarquia e os doutos teólogos permitiam-se alegres distrações... Nas suas celas de sábios escreviam tratados mais ou menos paródicos e obras cômicas em latim"* (Bakhtin, 1987, p. 12). Nas festas e também em outras ocasiões ocorridas no espaço público, desenvolveu-se um vocabulário familiar; outra expressão da cultura cômica. Linguagem que expressava, em circunstâncias progressivamente restritas, liberações das hierarquias, regras e tabus vigentes: *"tipo especial de comunicação ao mesmo tempo ideal e real entre as pessoas, impossível de estabelecer na vida ordinária. Era um contato familiar e sem restrições"* (Bakhtin, 1987, p. 14). A comunicação verbal, criada pela cultura popular, permitia formas lingüísticas, que foram se singularizando, nas relações que expressavam familiaridade, à medida que a cultura oficial a excluia, adotando novos padrões de comportamento.

Herdou-se um tipo peculiar de imagens, ao que se chamou de Realismo Grotesco, uma *"concepção estética da vida prática que caracteriza essa cultura e a diferencia claramente das culturas dos séculos posteriores"* (Bakhtin, 1987, p. 16). Destaca-se seu caráter universal e ambivalente, pelo qual se olhava a



vida: *"o cósmico, o social e o corporal estão ligados indissoluvelmente numa totalidade viva e indivisível"* (op. cit., p. 17). Cresswell e Teucher (2011), ao retomarem os primeiros escritos de Bakhtin, propõem uma compreensão da ação humana na qual corporeidade e sociabilidade não constituem dimensões independentes posteriormente colocadas em relação. Os autores ressaltam a qualidade sociocultural da ação corporificada e a importância da experiência vivida, questionando modelos nos quais signos e linguagem funcionariam apenas como mediadores externos entre indivíduo e mundo.

Bastos (2022), a partir da perspectiva dialógica bakhtiniana, compreende o corpo como atravessado por processos de valoração produzidos nas interações sociais. O corpo não é tomado como realidade autossuficiente em seus significados, uma vez que as formas pelas quais é percebido, classificado e reconhecido se constituem também nas relações com os outros e nos valores compartilhados socialmente. Bastos (2022) reforça essa dimensão ao recuperar a relação eu-outro como elemento central da concepção bakhtiniana do corpo. O autor argumenta que, embora cada sujeito ocupe uma posição singular e irrepetível, a compreensão e a valoração de sua corporeidade se produzem em relações dialógicas. O olhar e as avaliações do outro participam, portanto, da construção dos sentidos atribuídos ao corpo.

O alto e o baixo não se separam por relação, compõem uma unidade. O alto é o céu e é o rosto (a cabeça). O baixo é a terra e são os órgãos genitais, o ventre, o traseiro e o seio materno (op. cit., p. 18). A paródia moderna possui muitas das características da natureza e formas da cultura cômica popular, mas perdeu seu caráter essencial de ambivalência. Enfatiza apenas a dimensão negativa: *"é carente de ambivalência regeneradora"* (op. cit., p. 19). A cultura popular na Idade Média e no Renascimento é una e se contrapõe à cultura oficial da Igreja e do Estado; mas, não é apenas negação da cultura oficial. Sua natureza, por ser ambivalente, mesmo negando, ressuscita e renova ao mesmo tempo (op. cit., p.10).

Nessa perspectiva, Leite (2023) destaca que o corpo grotesco constitui uma das imagens privilegiadas do realismo grotesco bakhtiniano, caracterizando-se pelo movimento, pelo devir e pelo inacabamento. Sua constituição reúne simultaneamente polos aparentemente contraditórios, como nascimento e morte, crescimento e decomposição, de modo que a destruição não se apresenta dissociada da possibilidade de renovação.

No fim século XVI, Rabelais já começou a ser percebido como quem *"não passava de um autor divertido, um escritor extravagante"*. Mas, a noção de divertido ainda não havia sido adicionada da noção de *"coisa inferior e irrelevante"* (op. cit., p. 56). O riso vai se atenuando, e toma a forma de humor, ironia ou sarcasmo. Deixa de ser jocoso e alegre. A partir da segunda metade do século XVII, *"assiste-se a um processo de redução, falsificação e empobrecimento progressivo das formas dos ritos e espetáculos carnavalescos populares"* (op. cit., p. 30). As imagens da vida prática material e corporal como beber, comer e satisfazer necessidades naturais *"perdem quase completamente sua significação regeneradora e transforma-se em 'vida inferior'"*[1]. O riso carnavalesco assume, nessa

1. Bakhtin (1987) enfatizou a contribuição do romantismo, aos estudos do realismo grotesco, diferenciando o Grotesco Romântico de todas as interpretações, dentre final do século XVI e XVIII. Mas, também ele, já atenuava o teor ambivalente. Do século XX, destaca duas linhas interpretativas principais. O grotesco modernista, expressa pelos surrealistas e expressionistas (influência das correntes existencialistas), que retoma às tradições do grotesco romântico. E o grotesco realista, expressa por autores como Thomas Mann, Bertolt Brecht e Pablo Neruda, que retoma as tradições do realismo grotesco e da cultura popular, e às vezes reflete a influência direta das formas carnavalescas.

perspectiva, potencial crítico justamente por relativizar aquilo que se apresenta como estável, sério ou definitivo, participando de uma linguagem de transgressão e renovação cultural (Pais, 2025).

Da comunicação verbal, criada pela cultura popular, Bakhtin (1987), destacou os diminutivos, apelidos, epítetos injuriosos, às vezes com tom afetuoso. Comunicação, que não necessitava *"polir a linguagem nem observar os tabus, podem usar, portanto, palavras e expressões inconvenientes, etc."* (op. cit., p. 14). Se atentou, particularmente, para *"grosserias blasfematórias dirigidas às divindades e que constituíam um elemento necessário dos cultos cômicos mais antigos"*. Blasfêmias ambivalentes degradavam e mortificavam; simultaneamente regeneravam e renovavam (op. cit., p. 15)[2]. O vocabulário da praça pública, permeou a obra de Rabelais, e foi incompreendido pelos críticos literários, que o leram com lentes dos tempos modernos, e *"até hoje, esse vocabulário deixa embaraçados a todos os leitores de Rabelais"* (op. cit., p. 125). Imagens como a da urina e dos excrementos *"conservam uma relação substancial com o nascimento, a fecundidade, a renovação, o bem-estar".* Na época de Rabelais, o aspecto positivo dessas imagens *"era ainda perfeitamente vivo e sentido da maneira mais clara"* (op. cit., p. 128). Mesmo a relação delas com Deus não tinha sentido profano e de desrespeito: *"Rabelais não hesitou em mencionar 'Nosso Senhor' e a 'bênção do Senhor' ao lado dos excrementos (essas duas idéias estavam já justapostas na 'maneira de falar vulgar'...); ele não via nisso nenhum sacrilégio*" (op. cit., p. 128).

A cultura cômica não apenas desqualifica a visão e o modo de vida do mundo oficial. Em sua utopia de mundo renovado, tudo será transformado: *"o povo não se exclui do mundo em evolução. Também ele se sente incompleto; também ele renasce e se renova com a morte"* (Bakhtin, 1987, p. ?). Essa dinâmica não se limita à simples inversão entre polos opostos. Pais (2025) ressalta que a linguagem carnavalesca possui caráter simultaneamente transgressor e renovador: ao questionar formas estabilizadas da cultura, não se restringe à sua negação, mas mantém aberta a possibilidade de transformação e produção de novos sentidos.

A própria morte, no realismo grotesco, não surge como negação da vida. É *"fase necessária, de condição para a sua renovação e rejuvenescimento permanente. A morte está sempre relacionada ao nascimento, o sepulcro ao seio terreno que dá à luz"* (op. cit., p. 43). Essa dimensão do grotesco é reafirmada por Gómez Ponce (2022), para quem o corpo grotesco não comporta uma leitura unívoca, uma vez que se situa em um espaço de coexistência entre afirmação e negação, vida e morte, beleza e monstruosidade. Seu caráter inacabado relaciona-se, assim, à própria transformação, expressando estados nos quais diferentes concepções e significados coexistem e entram em tensão. O riso festivo popular não é puramente satírico, como o riso da época moderna. Não há uma separação do objeto do qual se ri, pois, está separação *"destrói a integridade do aspecto cômico do mundo, e então o risível (negativo) torna-se um fenômeno particular. Ao contrário, o riso popular ambivalente expressa uma opinião sobre um mundo em plena evolução no qual estão incluídos os que riem"* (op. cit., p. 11). Corpo e vida corporal *"ainda não estão completamente singularizadas nem separadas do resto do mundo"* (op. cit., p. 17). O que é cósmico, elevado, idealizado e abstrato, é rebaixado, no sentido de que é

2. Ambivalência existiu antes da Idade Média: *no folclore dos povos primitivos encontra-se, paralelamente aos cultos sérios (por sua organização e seu tom), a existência de cultos cômicos, que convertiam as divindades em objetos de burla e blasfêmia ("riso ritual"); paralelamente aos mitos sérios, mitos cômicos e injuriosos, paralelamente aos heróis, seus sócias paródicos" (Bakhtin: 1987, p. 5).*

transferido para o *"plano material e corporal, o da terra e do corpo na sua indissolúvel unidade"* (op. cit.). Na cultura popular do Renascimento já aparece, de modo mais substancial, a dimensão individual do corpo e da matéria. Entretanto:

> Não importa quão dispersos, desunidos e individualizados estivessem os corpos e as coisas 'particulares', o realismo do Renascimento não cortara ainda o cordão umbilical que os ligava ao ventre fecundo da terra e do povo. O corpo e as coisas individuais não coincidem ainda consigo mesmo, não são idênticos a si mesmos, como no realismo naturalista dos séculos posteriores; foram parte ainda do conjunto material e corporal do mundo em crescimento e ultrapassam... os limites de seu individualismo; o particular e o universal estão ainda fundidos numa unidade contraditória (Bakhtin, 1987, p. 21).

As imagens da festa popular não são imagens da vida cotidiana, pois não são imagens da vida de um indivíduo privado. O banquete liga-se diretamente às formas da festa popular; o ato de comer e beber não são atos cotidianos *"que fazem parte da existência de todos os dias de indivíduos isolados".* Trata-se, *"do banquete que se desenrola na festa popular, no limite da boa mesa",* que expressa a imagem fundamental da abundância e da universalidade, *"presente em cada uma das imagens do beber e do comer"* (Bakhtin, 1987, p. 243).

3. Diferenças e relações entre viver experiências e refletir sobre o vivido:

Ressalta-se da obra de Bakhtin (1987), o impacto da comunicação verbal, que permeia as interações sociais, nos processos de construção de concepções de mundo e culturas, o que se dá, também, nos processos de construção de projetos e trajetórias individuais. Entretanto, em Rabelais, a intersubjetividade se dá em um contexto social e cultural, diverso em sua unidade, mas, no qual, a integralidade é preponderante; e o individuo não se separa das demais dimensões da vida. A ideia moderna de individuo ainda não tinha força, no contexto das épocas, cujas fontes de Rabelais foram retiradas. Ademais, Bakhtin, desde seus escritos iniciais, considerou a relevancia da alteridade, para se pensar o humano; base de sua perspectiva dialógica (2006; 2010), que tal como seu pensamento mais ambivalente, foi se fortalecendo com suas teses posteriores.

Nesse contexto, um breve dialogo com Schutz (1979), parece relevante. Para ele, as ciências sociais partem do pressuposto de intersubjetividade de pensamento e ação. Pressupõe-se a existência de pessoas, e que elas agem em relação às outras. Pressupõe-se a existência, entre elas, de comunicação permeada por símbolos e outros elementos integrantes da vida social. Schutz acredita que, mais importante do que entender a intersubjetividade como pressuposto das ciências sociais é entender a construção deste pressuposto. Sua pergunta é *"o que é que faz com que o entendimento mútuo seja possível?"* (1979, p. 56). Para ele, a intersubjetividade só é possível devido à existência de estoques de experiências já interpretadas, acumuladas e sedimentadas, constitutivas da vida dos indivíduos. E deve-se considerar que, entre as vivências no presente vivido estão *"o comportamento das outras pessoas e seus pensamentos"* (op. cit., p. 162). Para Schutz são as correntes de pensamentos, que não são a de um certo indivíduo, que o permite ter consciência da estrutura básica, da sua própria consciência:



> Em potencial, cada um de nós pode voltar à vida consciente passada e ir tão longe quanto vai a lembrança, enquanto nosso conhecimento do outro permanece limitado ao segmento de sua vida e suas manifestações observados por nós. Nesse sentido, cada um de nós sabe mais sobre si próprio do que sobre o outro. Mas, num sentido específico, o contrário é verdade. Na medida em que cada um de nós pode vivenciar os pensamentos e atos do outro no presente vivido, enquanto que ambos só podemos captar os nosso próprios no passado, por meio de reflexão, sei mais do outro e ele sabe mais de mim do que cada um de nós sabe sobre a sua própria corrente de consciência. Esse presente, comum a ambos, é o campo puro do 'nós'... Nós participamos... sem um ato de reflexão, da simultaneidade vivida do Nós, enquanto o Eu só aparece após o retorno reflexivo... Nós não podemos captar nosso próprio agir em seu presente real; podemos apenas captar aquele passado de nossos atos que já foram; mas vivenciamos os atos do outro no seu desempenho vivo (Schutz, 1979, p. 163).

Em Schutz (1979), refletir algo vivido, revela intencionalidades da consciência. Apenas *"o que já foi vivido é significativo, e não aquilo que está sendo vivenciado. Pois o significado é meramente uma operação da intencionalidade, a qual, no entanto, só se torna visível reflexivamente"* (op. cit., p. 63). Atitudes entendidas como naturais são constituídas, não pela dimensão particular do indivíduo, mas pela intersubjetividade comum, da qual *"não temos um interesse teórico, mas um interesse eminentemente prático"* (1979, p. 73). Para Schutz, quando a intersubjetividade passa a ser *"a cena e também o objeto de nossas ações e interações"*, o mundo cotidiano passa a ser vivido, e também pensado, projetado e modificado: *"temos de dominá-lo e modificá-lo de forma a realizar os propósitos que buscamos dentro dele"*, considerando que os objetos da vida cotidiana *"oferecem resistência a nossos atos e temos de vencê-los ou de nos conformarmos com ela"*. E, observou que o mundo *"é algo que temos de modificar, através de nossas ações, ou que modifica nossas ações"* (op. cit.).

Pensa-se que a intersubjetividade, e nada a respeito da vida de um individuo, se relaciona apenas com conteúdos consciente da mentalidade. Por modos específicos, se relaciona, também, com conteúdos inconscientes, no sentido, de se tratar das dimensões involuntárias dos processamentos neuronais/cerebrais/mentais; ou seja, os responsáveis pelos habitos, fundamentados, em conteúdos e processamentos repetidos, automatizados e naturalizados. Ações ditas naturalizadas, como Schtz pareceu se referir, são hoje, entendidas pelas neurobiologias, enquanto parte das ações mais automatizadas, pelas dimensões mais involuntárias, dos sistemas organicos, do corpo humano; parte das ações, que assim se tornaram, por processos de socializações e inCORPOrações de valores, normas, leis, visões de mundo, habitus, costumes, etc.

Sem escopo, aqui, para aprofundar na perspectiva das neurobiologias sobre intersubjetividades, e sem escopo para relacioná-las com Schutz e Bakhtin. Mas, ciente da relevancia de não desconsiderá-las, para se pensar com cuidados necessários, o que aqui, tem-se o intuito de destacar, sobre as diferenças e as relações entre o viver as experiências e o refletir sobre o vivido, o que, devido a certo distanciamento entre um e outro, se dá, em parte, por meio das memórias (tanto voluntárias quanto involuntárias) e, em parte, por meio de atribuições de sentidos (embricando sentimentos e cognições). E todos os conteúdos, conscientes e inconscientes, que impactam nas ações voluntárias e involuntárias, são construidos a partir das relações e ambiencias vividas; das próprias ações e intenções e também das ações e intenções dos outros.

Frisando não ter intenções de relacionar as teses de Bakhtin com as de Schutz, as poucas menções de suas teses, aqui, pretendem pensar intencionalidades, tenham sido menos ou mais



voluntárias/conscientes; menos ou mais involuntárias/inconscientes.

Como observou Bakhtin (1987), a partir do final do século XVI, construiu-se diferentes lentes analíticas e linguagens, com outra concepção de vida/mundo, que não a experienciada por Rabelais; que por sua vez, significou e verbalizou o seu vivido, em um contexto, que lhe gerava uma mémoria e uma intecionalidade, mas que também, em parte, dizia respeito ao, que embora estivisse se transformando, no que passou a ser chamado de Cultura Popular, na sua época, ainda era menos pensado, e mais vivido; como, ao menos parcialmente, imemorial; mas que já buscava modos de resistir, para se manter existindo. Coloca-se, assim, em questão, o processo de formação da tradição. A Cultura Cômica Popular subsistiu viva até o século XVI, e no seu momento final, parece ter utilizado seu passado, outrora imemorial, enquanto direito de existência. Assim, foi se tornando um resgate, por meio da memória. Foi se tornando tradição[3]. Rememorar pode ser, em certa medida, romper com o passado, a partir do momento que o reconhece, pelo pensamento. O passado reconhecido assim, portanto, não mais vivido, pode ser questionado e/ou classificado. Classificar significa *relacionar*. O que implica pensar, que os processos, ao deixarem de ser só vividos, são reatualizados, lembrados e/ou revividos, *em relação* às mudanças. O pensamento posterior a Rabelais, refletiu e classificou a cultura popular, atribuindo-a significados, sem ligações com o vivido; pois não havia mais algo, como fora antes; nem existindo, nem resistindo. A distancia entre o vivido e o refletido já permitia signficar e deformar.

Conforme Bakhtin, as imagens rabelasianas, pareciam ainda não expressar uma reflexão fragmentada, uma vez que, não buscavam criticar e se separar do que ridicularizava; quem ridicularizava se sentia parte do que precisava ser regenerado. A cultura cômica popular, ainda viva no contexto, em que Rabelais viveu e produziu sua obra, pôde ser verbalizada por meio dos ritos, espetáculos, vocabulários da praça pública, obras orais e escritas. Este verbalizar pôde ser expressão do vivido e o próprio vivido. No Renascimento, a cultura popular já buscava impor, um certo status de cultura existente, desde tempos imemoriais que, portanto, possuía direito de existência, baseado no direito natural e comum. Em muitos sentidos, ainda era tradição viva, e não uma tradição reinventada, mas, já se iniciava a construção da tradição, como valor e classificação social. Ao ser explicitada como costume imemorial, para lutar por sua preservação, a cultura popular passava a ser objeto de reflexão e memória. Este resgate possui intenção e justiticativa: a gradativa proibição da cultura cômica, pela cultura oficial, que por sua vez, também possuía a sua intenção, para a qual a tese de Elias (1994), sugere uma hipótese.

Também relevante a perspectiva de Giddens (1991) sobre a construção moderna da tradição. A difusão dos processos de mudança social como modernização, que torna possível o conhecimento de certas culturas, como objetos tradicionais, presos, de certo modo, a um caráter negativo: *"nas culturas orais, a tradição não é conhecida como tal, mesmo sendo estas culturas as mais tradicionais de todas"*. A tradição tem que ser reinventada, *"a cada nova geração conforme esta assume sua herança cultural dos precedentes"* (op. cit., p.44). Para compreender o período tradicional é preciso ampliar o distanciamento tempo-espaço. É preciso criar uma perspectiva de passado, presente e futuro. É preciso criar uma percepção de mudança. A própria tradição reinventada, pode passar a se

3. Para Bakhtin (1987, p. 27), "o método de construção das imagens grotesca procede de uma época muito antiga: encontramo-lo na mitologia e na arte arcaica de todos os povos". Mas, "o florescimento do realismo grotesco é o sistema de imagens da cultura cômica popular da Idade Média e o seu apogeu é a literatura do Renascimento" (op. cit., p 28).



tornar naturalizada; e deixar com o tempo, mais uma vez, de ser pensada. Isto pois, mudanças históricas, se dão, muitas vezes, por conta gotas; lentamente.

No período do regime feudal, a relação das festas com os "*fins superiores da existência humana, a ressurreição e a renovação, só podia alcançar sua plenitude e sua pureza, sem distorções, no carnaval e em outras festas populares e públicas"* (Bakhtin, 1987, p. 8). As festas haviam se convertido numa *"segunda vida do povo"*; passaram a se manifestar apenas no período de duração das festas, o que então passou a contrastar com as festas oficiais que *"contribuíam para consagrar, sancionar o regime em vigor, para fortificá-lo"*; visava estabilidade do estabelecido: as hierarquias, os valores, as normas e tabus religiosos, políticos e morais. A festa oficial do regime feudal procurava expressar o triunfo de uma verdade fabricada, que se tornara dominante e que *"assumia a aparência de uma verdade eterna"* (op. cit., p. 8). Era necessário assumir o tom de seriedade, o que tornou o princípio cômico, em dimensão estranha. Mas, condiz a uma necessidade de afirmação, que negava a cultura até então existente. Se se pretendia desqualificar a cultura popular, é porque não podia eliminá-la pela raiz:

> O tom da festa oficial só podia ser o da seriedade sem falha, e o princípio cômico lhe era estranho. Assim, a festa oficial traía a verdadeira natureza da festa humana e desfigurava-a. No entanto, como o caráter autêntico desta era indestrutível, tinham que tolerá-la e ás vezes até mesmo legalizá-la parcialmente nas formas exteriores e oficiais da festa e conceder-lhe um lugar na praça pública (Bakhtin, 1987p.8).

A festa popular tornou-se *"liberação temporária da verdade dominante e do regime feudal, de abolição provisória de todas as relações hierárquicas, privilégios, regras e tabus"* (Bakhtin, 1987, p.8). Hierarquias, privilégios, regras e tabus, existem e existiram sempre. Não obstante, em certas épocas, são vividos com menos consciencia, de vivê-los, nesses termos e sentidos, de privilégios e regras. Tempos, nos quais, as hierarquias existiam, mas não eram questionadas; os tabus não eram duvidados.

Os processos civilizatórios não buscaram mudança para todos; buscaram uma separação entre grupos sociais, que embora sempre distintos, se misturavam e viviam uma mesma cultura; modos de ser e sentir semelhantes, ainda que a partir de diferentes posições e privilégios, não questionados, como passaram a ser, progressivamente, quando a alta hierarquia buscou se dissociar e se diferenciar da baixa hierarquia, em seus modos de ser. Criou-se modos de se mostrar diferente. Hierarquias e privilégios, que sempre existiram, passaram a ser mais conscientizados. Inferioridades e injustiças, já antes existentes, mas não pensadas e sentidas assim, se explicitaram; exacerbou-se arrogancias e sentimentos de superiorirdades, também, antes existentes, mas não pensados e sentidos, explícitamente, e com intensão de se diferenciar[4].

Durante o Renascimento, ainda havia certa ambivência na percepção do mundo e da vida humana. Neste contexto, que era *"um regime social que não conhecia ainda nem classes nem Estado, os aspectos sérios e cômicos da divindade, do mundo e do homem eram, segundo todos os indícios,*

4. Sem pretender discutir a respeito, registra-se uma indagação, que aqui se abre: - *não estaria a contemporaneidade ocidental, vivenciando quase que o contrário?* Será que não há hoje, uma busca pela superioridade, mas que ocorre, de modo mais inconsciente/involuntário, obscurecendo e negando essa busca; pois, a intencionalidade, que se consegue ter consciente, é pela igualdade social, pela humildade, e pelo reconhecimento das diferenças individuais, que não hierarquize?



igualmente sagrados e igualmente, poderíamos dizer oficiais". Após o estabelecimento do regime de classes e de Estado, as formas e manifestações cômicas foram adquirindo caráter não-oficial, modificando seus sentidos: *"elas complicam-se e aprofundam-se, para transformarem-se finalmente nas formas fundamentais de expressão popular do mundo, da cultura popular"* (op. cit., p. 5). A transformação histórica das formas e manifestações cômicas foi simultânea à institucionalização destas formas e manifestações cômicas, em Cultura Popular e em cultura não oficial. E, simultânea ao processo de formação de uma visão da Igreja e do Estado que, por mais inseridas, que estivessem no contexto do cômico popular, tendia a ser uma visão externa à cultura popular e tendia a negá-la.

De modo alegórico, pode-se pensar que, enquanto festas, carnavais, banquetes se deram em mundos hierarquicos, mas que conviviam, as culturas digeridas, ou seja, os valores, regras, costumes, visões de mundo, eram digeridas tal como eram, ambiguas, contraditórias; reflexos de um mundo de contrários, mas que pouco se dissociavam; essa maior fusão do que se inCORPOra, dava às ambiguidades e contradiçoes, significados ambivalentes; o feio e o belo das hierarquias, das guerras, das crenças, das festas e da vida, era incoporado, em suas ambivalencias; e assim construia um sujeito, pertencente a si e sujeitado ao todo; ambivalente. A clara distinção entre cultura popular e cultura civilizada fundou, entretanto, um outro tempo histórico; nele, ainda há o sujeito e o sujeitado; mas se tornam mais claros, e se intensificam enquanto opostos contraditórios; o teor dual ganha concretude sobre o da ambivalencia. A progressiva valorização do individuo se dá, em contexto, ainda bastante hierarquico; o sujeito sujeitado se torna progressivamente o responsável por si, mas em ambiências, que restringiam ainda mais, as capacidades de se ser individuo e cidadão. A ambivalencia ainda é o pano de fundo; contradições e ambiguidades ainda digeridas, constituindo corpos/mentes ambivalentes, ao menos, na sua dimensão mais naturalizada/involuntária; mas em um outro contexto, no qual, a individualidade permeava, cada vez mais, dualidades.

Ginzburg (2004) nos apresentou a Domenico Scandella, dito Menocchio, homem do século XVI, submetido a *acusação* de heresia. Indicou o que ele leu, e possíveis interpretações sobre como leu. Considerou ter existido um crivo entre ele e os livros por ele lidos; e apreendeu este crivo como pressuposto da existência de *"uma cultura oral que era patrimônio não apenas de Menocchio, mas também de um vasto segmento da sociedade do século XVI"*. Indicando que, *"entre a cultura das classes dominantes e a das classes subalternas existiu, na Europa pré-industrial, um relacionamento circular feito de influências recíprocas, que se movia de baixo para cima, bem como de cima para baixo"* (op. cit., p. 12). Menocchio era um camponês, mas não típico aos outros, *"era um homem, ao menos em parte, diferente dos outros. Mas, essa singularidade tinha limites bem precisos: da cultura do próprio tempo e da própria classe não se sai a não ser para entrar no delírio e na ausência de comunicação"* (op. cit., p. 25). O que, em algumas circunstâncias, é obrigatório para não ser submetido à acusação, como a de heresia. Pensar comunicação como intersubjetividade tecida por determinada cultura e pelas circularidades das culturas, ontem e hoje, implica dizer, que o olhar desviante, tal como o de Menocchio, por um lado, pode ser percebido, por alguns, como delírio e por outros como heresia, por outro lado, não supõe completa incompreensão. Compreendia-se o comportamento dele, como ato desviante, que permitia produzir uma acusação[5]. Trata-se de contextos de disputas, pelas "verdades".

5. Para Ginzburg: *"Cem, 150 anos depois, Menocchio provavelmente teria sido trancado num hospício... o diagnóstico... 'tomado por delírio religioso´. Todavia, em plena Contra-Reforma, as modalidades de exclusão eram outras – prevaleciam a identificação e a repressão da heresia"* (1994, p. 44).



Ginzburg (2004) registrou momentos do processo judicial, submetido pelo seu personagem, e descreveu várias possíveis ambigüidades e contradições do discurso de Menocchio que, no entanto, não anulava seu modo de olhar a realidade, bem como, não anulava seu comportamento, sendo construído, ao longo do processo de acusação, como desviante, e ao mesmo tempo carregado de tensões sobre como olhava as possibilidades de pensar e agir e, construía suas escolhas de conduta, ambivalentemente, em contextos ambivalentes. Mas, que já se colocavam como duais, quando, conscientemente, fossem, necessárias, para as relações desiguais de poder, em seus conflitos por poder. A ambivalência, portanto, não corresponde simplesmente à existência de dois significados opostos. Conforme Leite (2023), o sistema de imagens do realismo grotesco conserva simultaneamente os polos positivo e negativo, fazendo com que rebaixamento, degradação e morte possam coexistir com fertilidade, renovação e nascimento.

Importante relembrar, que Menocchio viveu no século XVI, ou seja, no mesmo século, que viveu Rabelais. Para Bakhtin, a obra de Rabelais, em seu tempo não sofreu acusações substanciais. Ao menos em parte, porque, *"as paródias da Idade Média não eram de maneira alguma pastiches rigorosamente literários e puramente denegridores dos textos sagrados ou dos regulamentos e leis da sabedoria escolar: elas transpunham tudo isso ao registro cômico e sobre o plano material e corporal positivo"* (1987, p. 72). E a liberdade do riso se limitava, sobretudo aos dias das festas autorizadas, quando podia "*comer carne e toucinho"* e *"retomar a atividade sexual"*. Além de efêmera, era uma liberdade utópica. As verdades reveladas se davam por meio de máscaras cômicas, que não deixavam de ser um tipo de resistência. Mas não eram formalizadas enquanto resistências. Não foram acusadas como resistência à cultura oficial. Foram percebidas como ameaças, o que explica as tentativas, progressivas, de proibição das festas e outros rituais da cultura cômica; e explica a progressiva separação da cultura oficial da cômica, de modo a desqualificá-la, transformando-a em algo inferior, impróprio para aqueles, que se *"civilizavam"*, no sentido de Elias (1994). Percebidas como ameaças, enquanto buscavam se manter, acionando o direito costumeiro de existência, a cultura cômica não foi, entretanto, acusada de heresia.

O historiador Étienne Pasquier, contemporâneo de Rabelais, percebeu que este último *"brincou com os homens e com os deuses celestes de tal maneira que nem os homens nem os deuses se ofenderam com isso"* (*apud* Bakhtin, 1987, p. 109). A cultura cômica em Rabelais foi uma brincadeira e um riso bem sucedidos: *"apesar da sua linguagem franca... evitou a fogueira... não sofreu nenhuma perseguição... Um velho amigo de Rabelais, o humanista Étienne Dolet, morreu na fogueira por coisas mais insignificante, que ele tivera o azar de dizer de forma séria"* (Bakhtin, 1987, p. 234). Já no final da vida de Rabelais, segunda metade do século XVI, comumente indicado como contra-reforma, mudava o cenário:

> Rabelais estava perfeitamente convencido de que não se podia exprimir a verdade livre e franca a não ser no ambiente do banquete, e unicamente no tom das conversações à mesa, pois fora de toda consideração de prudência, apenas esse ambiente e esse tom respondiam à própria essência da verdade tal como ele a conhecia: uma verdade interiormente livre, alegre e materialista (Bakhtin, 1987, p. 249).

Bakhtin também registrou que, Rabelais, em algumas circunstâncias, teve que tomar *"medidas de prudência, desaparecer por algum tempo"*. Registrou ataques de quem não reconhecia os *"direitos especiais do riso"*. Seus livros foram condenados pela Sorbone; mas isso não impediu a difusão e reedições. Sobretudo, no final de sua vida, Rabelais *"foi violentamente atacado do lado católico pelo monge Gabriel de Puy-Herbault, e o lado protestante, por Calvino"*. Mas, os ataques permaneceram isolados: *"os direitos do riso que o carnaval confere, venceram"* (Bakhtin, 1987, p. 234).



4 . Da ambivalência à ambiguidade dual

Bakhtin (1987) enfatizou o período vivido por Rabelais, mas também há em sua obra, indícios para se localizar, de maneira genérica, um fio histórico das mudanças, que permearam a trajetória da cultura popular. Para isto, dois outros autores (Foucault, 2004 e Elias, 1994) também oferecem contribuições.

Para Bakhtin (1987), no princípio da Idade Média, a cultura popular penetrava os círculos religiosos, baixos médios e superiores. A cultura oficial religiosa e feudal até o século IX *"era ainda débil e não completamente formada"*; já a cultura popular *"era muito forte e era preciso levá-la em conta a qualquer preço"*. Algumas de suas formas haviam sido legalizadas, e estavam muito vivas. No seu início, a Igreja esteve imbuída de caráter progressista, a identificando como *"relativamente popular"*. Para cristianizar, buscou coincidir festas cristãs e festas pagãs, relacionadas com os cultos cômicos. No início, legalizadas e celebradas nas Igrejas. Depois, semi-legais e finalmente ilegais, no final da Idade Média[6]. Antes disso, foram restringidas às praças, ruas, tavernas. Foi criando, em sua diversidade, seu caráter próprio, mutável, não linear. Como o canto dos cisneis, simbolicamente, o último suspiro, a cultura popular, por uma série de fatores resultantes da *"decomposição do regime feudal e teocrático da Idade Média"*, teve o renascimento: *"a cultura cômica popular que, durante séculos, formara-se e defendera sua vida nas formas não-oficiais da criação popular – espetaculares e verbais – e na vida corrente não-oficial, içou-se aos cimos da literatura e da ideologia a fim de fecundá-las"* (Bakhtin, 1987, p.62). Não obstante, o apogeu com Rabelais foi curto: *"à medida que se estabilizava o absolutismo e se instaurava um novo regime oficial, tornou a descer aos lugares inferiores da hierarquia dos gêneros, decantando-se, separando-se em grande parte das raízes populares, restringindo-se e finalmente degenerando"* (op. cit). Degeneração, sobretudo, devido a perda de sua ambivalencia, de modo que, os pólos negativo e positivo, das imagens rabelaisianas, se separaram; e o princípio material e corporal passou a ser visto, como expressão de vida inferior.

Foucault (2004) registrou que, em várias localidades da Europa, se deu um período de "vazio", a partir do século XV, com a redução substancial da lepra. Vazio que se estendeu de modo geral até o século XVII, e que expressou um momento marcado pela espera de *"nova encarnação do mal, um outro esgar do medo, mágicas renovadas de purificação e exclusão"*. Tratava-se de um mal e de um medo, que se dava como manifestação de Deus. E tratava-se de um contexto de inquietude, do qual deve-se destacar a natureza do vazio, do medo e da supressão do medo. O contexto de inquietude foi correlacionada aos impactos das guerras e pestes, sobre a concepção dos homens a respeito da morte. Do medo da morte à expressão literária, que zomba da morte, resultou uma concepção de necessidade de sobreviver ao risco, e da consequente percepção de incapacidade do homem sobre a morte, que o reduz a um nada, que é paradoxalmente um nada, que expressa toda a sua existência. O medo da morte, ao ser progressivamente desarmado, pela própria natureza deste processo, leva o indivíduo, a um certo desapego da vida, o que abre margem para o cômico, do que é cotidiano e ridículo, de cada um, seus vícios e defeitos. Permite também que passem a pensar, ainda que lentamente, em si próprio.

6. Para Bakhtin: *"em várias ocasiões, os concílios e tribunais haviam proibido a festa dos loucos. A mais antiga dessas interdições..., remonta à primeira metade do século XII. A última, cronologicamente, foi a decisão do Parlamento de Dijon em 1552, ou seja, mais de nove séculos depois.... Durante esse longo período, a festa dos loucos viveu uma existência semilegal"* (1987, p. 67).



O louco em Foucault (2004, p. 14) parece ser, sobretudo, aquele que *"pronuncia em sua linguagem de parvo, que não se parece com a da razão, as palavras racionais que fazem a comédia desatar no cômico"*; coerente com sua percepção, das antigas festas dos loucos, que *"não deixam de acontecer nos teatros e de organizar em crítica social e moral aquilo que podiam conter de paródia religiosa espontânea"* (op cit).

Pensa-se que, Foucault (2004) leu a loucura, como expressão de individuos, que estavam sendo excluídos, devido aos seus olhares confusos, múltiplos e ambivalentes; desviantes, do que, então, passava a ser instituído como normal e legítimo. E pensa-se, que há coerência no seu pensamento, ao considerar, que seu objetivo era apreender a história da loucura, e não a interpretação da loucura, pelo olhar da Cultura Cômica Popular, como fez Bakhtin (1987), para compreender Rabelais. De qualquer modo, em Foucault, a loucura, pareceu percorreu, cada vez mais, as trajetórias de substituição do sério e do medo da morte; provavelmente, pois, após o século XVI, se esgotavam as fontes, que enfatizavam as ambivalências, do realismo grotesco, de Rabelais, perdendo, o caráter regenerador, passando a expressar apenas o temor da vida e da morte:

> O motivo da loucura, por exemplo, é característico de qualquer grotesco, uma vez que permite observar o mundo com um olhar diferente, não perturbado pelo ponto de vista 'normal', ou seja, pelas idéias e juízos comuns. Mas, no grotesco popular, a loucura é uma alegre paródia do espírito oficial, da gravidade unilateral da 'verdade' oficial. É uma loucura festiva. No grotesco romântico, porém, a loucura adquire os tons sombrios e trágicos do isolamento do indivíduo (Bakhtin, 1987, p. 35).

A transformação histórica do grotesco é também destacada por Gómez Ponce (2022). O autor observa que, enquanto o grotesco rabelaisiano articula morte, fertilidade e regeneração em uma visão festiva e coletiva, manifestações posteriores, particularmente aquelas vinculadas ao grotesco romântico, deslocam essa experiência em direção ao medo, ao estranhamento e ao isolamento. O grotesco não desaparece, portanto, mas transforma historicamente seus sentidos e suas formas de representar o corpo.

As imagens rabelaisianas não expressavam a espera de novo mal. Em Rabelais não há vestígio de medo: *"a alegria percorre-o integralmente. Mais do que qualquer outro no mundo, o romance de Rabelais exclui o temor"* (op. cit., p. 34). Tratava-se de um tempo no qual a dimensão de futuro ainda era utópica e aberta, expressando a espera de tempos melhores. Além do caráter universal e ambivalente, havia uma estima pela liberdade: *"a liberdade absoluta que caracteriza o grotesco, não seria possível num mundo dominado pelo medo"*. O riso *"supõe que o medo foi dominado"*. Era uma vitória sobre o terror divino, sobre o medo que se tinha das forças da natureza, e sobre o *"medo moral que acorrentava, oprimia e obscurecia a consciência do homem".* Brincava-se com o medo, fazendo pouco da opressão. O medo vencido adquiria *"forma do monstruoso cômico, dos símbolos do poder e da violência virados do avesso"*. As hierarquias eram invertidas, o inferior tornava-se superior e vice-versa: *"tudo que era temível, torna-se cômico"*. Mas, não era uma vitória da cultura não-oficial do riso contra a cultura oficial do sério. Era uma vitória sobre um todo, que seria ao mesmo tempo destronado e renovado, transformando-se em alegria (op. cit., p. 78).

Ademais, como alertou Bakhtin *"seria errôneo, contudo, crer que a seriedade não exercia nenhuma influência sobre o povo"*. Quando o sério tornou-se cultura oficial, passou a conotar aspectos de autoridade, violência, interdição e restrição. Enquanto houvesse razão para ter medo, na medida em



que o homem se sentia ainda fraco diante das forças da natureza e da sociedade, a consciência da liberdade só podia ser limitada e utópica (1987, p. 82). E, qualquer tipo de vitória só podia ser efêmera: *"só durava o período da festa e era logo seguida por dias ordinários de medo e de opressão; mas graças aos clarões que a consciência humana assim entrevia, ela podia formar para si uma verdade diferente, não oficial, sobre o mundo e o homem"* (op. cit.).

Para Foucault (2004), e para Bakhtin, o papel da peste deu:

> O direito de falar de outra maneira, de ver de outra forma a vida e o mundo; todas as convenções caem, assim como as leis 'tanto as divinas como as humanas silenciam'. A vida é extraída das suas fronteiras banais, a teia de aranha das convenções se rasga, todas as fronteiras oficiais e hierárquicas são varridas, um ambiente específico se cria, que concede o direito exterior e interior à liberdade e à franqueza. (Bakhtin, 1987. pp. 237-238)[7].

Tratou-se do apogeu da cultura cômica popular, no Renascimento, que seria seguido da contra-reforma. E alerta Bakhtin sobre a importância do controle social da Igreja interiorizado, ao longo da longa Idade Média. Ou, usando um outro termo, o controle social da Igreja, foi inCORPOrado, por toda a metalidade dessas épocas:

> A cultura oficial da Idade Média elaborou-se ao longo de séculos, teve seu período criador e heróico, foi universal... envolveu e atemorizou todo o universo, cada fragmento da consciência humana, apoiada pela organização única no seu gênero que foi a Igreja Católica. No Renascimento, a formação feudal chegava ao fim, mas o poder da sua ideologia sobre a consciência humana tinha ainda excepcional força (op. cit., p. 238).

Épocas, que nos termos da inquietude, destacada por Foucault (2004), estavam sendo posta em questão. A rede de significado que, por muito tempo foi inquestionada, "começa a se embaralhar", e deixa de ser intersubjetiva para todos. Aqueles que vêm, aquém ou além, desta rede de significados são estigmatizados e/ou perseguidos. Mas, também está se dando a transformação das formas góticas (que por muito tempo ainda subsistirá), em silêncio. As formas góticas deixam de falar e de ensinar. Passam a se manifestar apenas enquanto presença fantástica. Mas, se desenvolve novos significados, que continuam a se desdobrar, em outros significados. O sentido deixa de ser lido, de imediato. As figuras não falam mais por si. O onírico passa a existir. Inicia-se, ainda que, inconscientemente, para os sujeitos daquela época, um movimento tenso entre os significados e a reflexão. A loucura passa a ser expressão do *"coro alegre de todas as fraquezas humanas"* e passa a indicar um *"sutil relacionamento que o homem mantém consigo mesmo"* (Foucault, 2004, pp. 18-24). Mas, a Igreja tem sua interpretação sobre este homem, que passa a apegar a si próprio: *"o apego a si próprio é o primeiro sinal da loucura, mas é porque o homem apega a si próprio que aceita o erro como verdade, a mentira como sendo a realidade, a violência como a beleza e a justiça"*. Há uma contra-reforma, que faz do homem, que apega a si, um insano e um imoral. A loucura se desenvolve, e simultaneamente desenvolve (n)um universo moral (op. cit., p. 24).

---

7. Para Bakhtin, Boccaccio foi o primeiro a abordar a *peste como um contexto, que servia para "criar as condições propícias à franqueza, às declarações e imagens não-oficiais"* (1987, p. 237).



Elias (1994) aponta uma relação entre declínio do Regime Feudal e a intensidade da necessidade de impor controle, aos sentimentos humanos: *"o comportamento e a vida afetiva dos povos ocidentais mudou lentamente após a Idade Média"* (op. cit., p. 14). Sobretudo, nos primeiros países onde o regime feudal ruiu, parece ter existido a institucionalização de códigos de comportamentos, apreendidos como necessários para os de boa educação conseguirem se diferenciar dos súditos, quando a hierarquia social de outrora, inquestionavelmente natural, estava sendo questionada. Tratou-se de uma *"mudança muito específica nos sentimentos de vergonha e delicadeza"*. Mudava-se o padrão do que, a sociedade exigia e proibia. Com isto, movia-se o patamar do desagrado e medo, socialmente instilados (op. cit.). Cortesões ocidentais foram sendo civilizados, de modo que, seus sentimentos individuais passaram a ser controlados. Era necessáeio, que tivessem comportamento reservado e eliminassem *"todas as expressões plebéias"*. Devia-se ocultar os sentimentos e atitudes vulgares, próprios de gente de baixa posição social. Toda uma literatura passou a regular a vida cortesã, em geral: *"apresenta os membros da corte como eles gostariam de ser e, ao mesmo tempo, como os príncipes absolutos os querem ver"* (op. cit., p. 34).

Para Elias (1994, p. 77), a domesticação dos costumes produziu uma nova fase do desenvolvimento humano, que faz com que, atualmente haja um "embaraço" sobre o que sentem *"ante o comportamento de nossos ancestrais"* (p. 77)[8]. O que remete à já referida tese de Bakhtin (1987), sobre a incompreensão da leitura moderna de Rabelais. Suas imagens grotescas passaram a ser apreendidas como pornografias. O riso, a morte, a loucura e outros fenômenos foram deformados; o baixo-corporal deixou se percebido como *"terra que dá vida"*. O alto e o baixo corporal se separaram. Perdeu-se a conexão entre a comida, que se come, pela boca; é digerida, "defecada" pelo "traseiro", e se torna adubo, que fertilizará a terra, para permitir mais vidas, enquanto novos alimentos.

Elias (1994), Foucault (2004) e Bakhtin (1987) citaram Erasmo de Roterdan, ilustrando a institucionalizaçãoo surgimento de uma nova linguagem e um novo padrão de conduta legitimado. E a definição de Elias sobre a obra de Erasmo, toca, novamente, no ponto semelhante à percepção de Bakhtin, sobre Rabelais, quanto à atuação deles, enquanto homens de seus tempos. Para Elias, Erasmo *"tinha diante dos olhos um código social especial, um padrão especial de maneiras.* [seu] *tratado é, na verdade, uma coletânea de observações feitas na vida e na sociedade"* (1994, p. 83). Mas,

> O século XVI permanece ainda inteiramente dentro da transição. Erasmo e seus contemporâneos ainda podem falar sobre coisas, funções, modos de se comportar que um ou dois séculos depois são acompanhados de sentimentos de vergonha e embaraço e cuja menção ou exibição em público são proscritas pela sociedade (op. cit., p. 94).

8. Já se fez referencias sobre a importância, para Bakhtin, da conversa no conjunto do sistema de imagens rabelaisianas. Também Elias destacou que na França *"a conversa é um dos mais importantes meios de comunicação e, além disso, há séculos é uma arte"* (op. cit., p. 445). Para ambos, o aparecimento de novas palavras costuma indicar ocorrência de mudanças na vida dos homens. Em sociedades cuja comunicação era basicamente oral, a aprendizagem por meio da memória era eficaz para educar e condicionar. Gravava-se na memória o que *"devia e não devia fazer em sociedade, e acima de tudo à mesa"* (op. cit., p. 75). Para Elias (1994), atualmente a palavra civilização passou a ser utilizada de modo naturalizado, devido às relações de sociabilidade, ao longo de mais de três séculos: "usa-as porque lhe parece uma coisa natural, porque desde a infância aprende a ver o mundo através da lente desses conceitos. O processo social de sua gênese talvez tenha sido esquecido há muito. Uma geração os transmite a outra sem estar consciente do processo como um todo, e os conceitos sobrevivem enquanto essa cristalização de experiências passadas e situações retiver um valor existencial, uma função na existência concreta da sociedade" (pp. 26-27).

Para Bakhtin (1987), as imagens rabelaisianas tinham relações com a medicina. Também Elias (1994) apontou para a influência das doenças, no condicionamento a novos padrões de conduta, percebidos como mais higiênicos. As condutas higiênicas se naturalizaram e hoje são realizadas como expressão de nojo, de asco e de um sentimento de repugnância, que se consolidou e intensificou a visão incompreensiva e embaraçosa do comportamento dos homens da Idade Média, pelo olhar dos homens dos períodos posteriores. Também sobre o sexo, Elias indicou que *"na sociedade aristocrática de corte, a vida sexual era por certo muito mais escondida do que na sociedade medieval"*. Indicou que *"o que o observador de uma sociedade industrializada-burguesa amiúde interpreta como 'frivolidade' da sociedade de corte nada mais é do que essa orientação rumo à privacidade"* (op. cit., p. 178). Privacidade que, como já referido, não existia no contexto de Rabelais, onde a personalidade ligava-se estreitamente à estrutura social, como o próprio Elias reconhece. Mas, mais que isso, o que, aqui, se ressalta, é o como na estrutura social, ao longo da história, oscila-se perspectivas de contradição, com teor ambivalente; e perspectivas de contradição, com teor dual, nas quais, parece, que só uma verdade pode existir:

> Uma palavra levava a outra e, de repente, emergindo do riso se vêem no meio de uma rixa feroz. Grande parte do que nos parece contraditório – a intensidade da religião, o grande medo do inferno, o sentimento de culpa, as penitências, as explosões desmedidas de alegria e divertimento, a súbita explosão de força incontrolável do ódio e da beligerância – tudo isso, tal como a rápida mudança de estados de animo, é na realidade sintoma da mesma estrutura social e de personalidade (1994, p. 198).

Bakhtin (1987, p. 208), observa que, no século XV, houve na França *"uma época de enorme liberdade verbal"*; já a partir do século XVI *"as regras da linguagem familiar e oficial tornaram-se muito mais severas e as fronteiras entre a linguagem familiar e a oficial, bastante claras".* Mas, *"esse processo afirmou-se especialmente no fim do século, data em que se instaurou definitivamente o cânon da decência verbal que deveria reinar no século XVII"*. Quando então, *"para ser educado era necessário proceder de maneiras específicas sobretudo nos atos de comer, de se vestir e de se comportar perante aos outros"* (op. cit., p. 282). Assim, partes do corpo como órgãos genitais, traseiro, ventre, nariz e boca deixam de representar seu sentido primitivo e passam a traduzir *"a vida individual de um determinado corpo, único e isolado"* (op. cit., p. 280). O alto e o baixo corporal de ambivalentes, tornam-se duais, separadados e opostos. As hierarquias se explicitaram, claramente, em alto e baixo, em termos de honra, privilégio, poder, civilidade, criando dualidades, e oposições. Algo análogo ocorrerá, também, com noções de crença e verdade; corpo e cérebro, etc.

5. Da ambiguidade dual às possiveis ambivalências atuais

Com todos os cuidados necessários, buscar-se-á transportar as análises acima, para o contexto atual, nas sociedades ocidentais do século XXI. Tem-se a hipótese de que, diferente do contexto ambivalente, do que passou a se chamar de Cultura Popular da Idade Média ao Renascimento, as trajetórias históricas, marcadas pela valorização do individuo, com liberdades e direitos juridicos iguais (ao menos em tese; pois, ainda se tratam de sociedades socio-economicamente desiguais) construiram contextos bastante duais, entre crença e verdade; superiores e inferiores; legal e ilegal; razão e emoção, obsecurecendo, por longos tempos (e ainda obscurece), o teor vasto, plural e



complexo, ou seja, as ambivalencias dos diversos aspectos da vida, que individuos inCORPOram em si, lhes fazendo, corpos multiplos. Os corpos são multiplos e ambivalentes, pois possuem dimensões de pensamentos e de demais ações, voluntárias e involuntárias. Ou seja, realizadas, conscientemente, com foco e reflexão voluntária; e também, realizadas por *habitus*, automatizados, naturalizados, acionados involuntáriamente.

Pressupoe-se, neste artigo, que o pensamento atual (enquanto conteúdo do corpo humano) procede por lógicas menos duais e mais ambivalentes, quando se dá, de modo mais voluntário e consicente. Ou seja, quando as ações cerebrais centram-se, no ato de se pensar, que, então, está sendo realizado, com consciencia, de que o corpo, naquele momento, se esforça no objetivo de pensar sobre algo. Já quando o pensamento se dá, de modo mais automático e involuntário, sem muita atenção sobre o que está se pensando, procede por lógicas menos ambivalentes e mais duais, dada as mentalidades duais, que foram predominantes, ao menos desde o século XVII, e assim in**corpo**radas.

Assim, entende-se, que o pensamento, quando procede por lógicas mais duais, está agindo, de modo mais involuntário, automático, pois não está centrado no proprio pensamento e sim, nas demais ações do corpo[9]. Não obstante, pelo contrário, essas demais ações do corpo, quando são elas, que estão sendo realizadas, de modo mais involuntário e automático (ou seja, pelos hábitos do corpo, e não por que o corpo centra atenção, a uma dessas ações), elas, assim, de modo mais automático e involuntário, são apenas vividas; e nestes casos, já são marcadas, mais pelo teor ambivalente, que melhor expressa, as pluralidades, complexidades e interelaçoes dos diversos aspectos da vida.

Aquilo que, normalmente, chama-se de cultura - *emaranhados de significados* (Thompson, 1987), se inCORPOrado, em termos substanciais, reestrutura todo o corpo; cria-se, neste corpo, adaptações de seus mecanismos de defesas e *habitus*, que mantem sua homeostase. É vital à vida humana, o bom uso de suas energias. A construção de habitus, a partir das estruturas culturais, que permeiam essa vida, a torna adaptada e possível, para o conjunto de habitats vivenciados, sem excluir o dinamismo destes habitus, com todas as tensões, que os perpassam. Tudo no corpo e na vida é mutável, dinamico e múltiplo. Em sua capacidade de ser vasto, pode-se criar mentalmente, mentalidades duais; mas não eliminam o múltiplo. Podem obscurer o teor ambivalente; pode clarear mais as dualidades e oposições; mas a essencia da vida é ambivalente. Por isso, parece que o teor de ambivalencia foi mais bem vivido e apreendido nas vidas mais próximas dos contextos naturais; a natureza é ambivalente.

De modos distintos, ao longo da história humana, os diversos aspectos e teores se misturam, sendo uno: o corpo humano, em suas multiplas relações, ambiencias, tradições e mudanças. Pensar unidades e descontinuidades da vida/corpo humano, ganha um teor de analogia reflexiva e proficua; ao pensar isso, no ambito de compreensões também sobre unidade e descontinuidade das culturas.

E quase como em homenagem e gratidão, ao antropólogo, que me apresentou a Bakhtin, lembra-se de que para Velho (2002, p. 16), *"uma questão interessante em antropologia é, justamente, a procura de localizar experiências suficientemente significativas para criar fronteiras simbólicas"*. Assim, buscou entender, o que se pode compreender por *outra cultura*: Para ele, qualquer sociedade, *"vive*

9. Relevante registrar, que na perspectiva da autora deste artigo, não se separa corpo e mente/cérebro; e não se separa o pensar das demais ações humanas. Pensar e sentir são ações, ainda que distintas de outras.



permanentemente a contradição entre as particularizações de experiências restritas a certos segmentos, categorias, grupos e até indivíduos e a universalização de outras experiências que se expressam culturalmente através de conjuntos de símbolos homogeneizadores... paradigmas, temas, etc". Nesse contexto, por execelencia ambivalente, há experiencias, que podem ser comunicadas, ou seja, são permeadas, por um entendimento de serem comuns. Mas, nesse mesmo contexto, também há vivencias desviantes, que podem rejeitar ou transformar, elementos das realidades, que são sempre mutáveis e dinamicas, ainda que, de modo, nem sempre visível e perceptível. O desviante pode proporcionar mudanças ou sofrer acusações e exclusões. As interações podem produzir desvios e desviantes, que só existem para certos grupos, e não para outros grupos. Ser tido como desviante, em uma sociedade permeada, por diversas redes de códigos e significados, com graus diferentes de possibilidades de serem compartilhados, se dá, sobretudo, quando se exclui o maior número dos possíveis códigos a serem compartilhados. Mesmo assim, trata-se de um desvio, que faz daquele individuo alguém, que passa a ser lido como desviante, pelos demais de certos grupos, mas, ainda dentro da linguagem, que permite alguma intersubjetividade, naquele contexto social.

A articulação entre linguagem e experiência corporal também é enfatizada por Cresswell e Teucher (2011). Ao retomarem a fenomenologia presente nos primeiros escritos de Bakhtin, os autores ressaltam que a linguagem não deve ser compreendida apenas como um sistema simbólico que medeia externamente a relação entre sujeito e mundo. Sua significação encontra-se vinculada à experiência corporificada, situada e socioculturalmente constituída.

Nisso, pode-se indagar, se o corpo humano é constituido, por tudo isso, de modo embricado; podendo se manifestar, por vezes, de modos mais equilibrados ou tensos; de modos mais objetivos ou subjetivos. Um corpo homogeneo, em sua heterogeneidade complexa e mutável. Uma homeostase, e seus dinamismos. Sobretudo, em ambiencias, nas quais se intensificam, interações dos indivíduos, com redes de relações amplas e diversificadas, tem-se trajetórias de socializações, que podem ser múltiplas, em razão das possibilidades, que as redes de relações, concedem aos indivíduos, participarem de diferentes modos, de diversos códigos, uns mais restritos, outros mais universalizantes. E o corpo é reflexo de suas interações, com suas ambiencias.

Pensar ambivalencias, portanto, é resgatar esse aspecto vasto e heterogeneo, do corpo uno. Um corpo é feito de suas culturas inCORPOradas. Nessa perspectiva, a corporeidade não se restringe à materialidade orgânica. Essa dimensão situada da corporeidade também pode ser reconhecida nos primeiros escritos bakhtinianos. Conforme McCaw (2022), o sentido não se constitui abstratamente, mas a partir de atos realizados por sujeitos concretos, situados em tempos, espaços e circunstâncias determinadas. Corpo, experiência e responsabilidade encontram-se, assim, vinculados à concretude do acontecimento vivido. Essa compreensão encontra aproximação com Cresswell e Teucher (2011), que propõem uma leitura de Bakhtin na qual desenvolvimento, linguagem e experiência corporificada são inseparáveis da dimensão sociocultural. A corporeidade, nessa perspectiva, não corresponde apenas a um suporte material sobre o qual posteriormente atuariam linguagem e cultura; ela participa do próprio modo pelo qual o sujeito experiencia e significa o mundo.

Teixeira (2019), ao examinar o corpo no pensamento bakhtiniano, destaca sua constituição axiológica e relacional, evidenciando que a experiência corporal se produz também na relação entre o eu e o outro. O corpo, portanto, é simultaneamente vivido pelo sujeito e significado nas relações sociais das quais participa.



Contradições atuais, podem ser pensadas e exemplificadas, como, por exemplo, a atual busca pela especificidade de um individuo, limitada, de modos menos ou mais obscuros, pelas multiplas imposições sociais, disfarçadas pelos discursos de liberdade individual, que usam máscaras convenientes, para transformar essa liberdade, em culpa, sempre que a livre escolha, se depara com a acusação das normas sociais; fazendo dessa liberdade de escolha, uma escolha equivocada. E a contradição ou ambivalencia menos ou mais destacada, a variar sobre o grau de aceitação, de corpos como algo, que precisa ser uma coisa ou outra; ou de corpos como multiplos.

Neste exemplo, observa-se que proclama-se a defesa pelo amor proprio, para se ser, o que se deseja, mas isso se dá, simultaneamente, à acusação e à responsabilização do individuo, que não consegue se encaixar às verdades e exigencias, de uma época, e é desviado, inclusive, por que muitas escolhas se dão, em contextos desiguais de condições de oportunidades; pois se dão, em contextos culturais, socioeconomicos e **afetivos**, ainda muito desiguais. Se antes, em contextos, bem menos plurais, o desviante poderia vir a ser o bufão ou o herético; hoje, em contextos densamente mais plurais, o desviado das condições, de ser ele mesmo é culpabilizado, por não ter alcançado seus projetos; ou no caso de muitos, que alcançam seus projetos, mas vivem a tensão, o vazio, ou outros sentimentos de desajustes, pois, mesmo se realizado, desviou-se dos projetos legitimados; assim pode vir a não receber o reconhecimento social de seus feitos; e é ainda pode vir a ser acusado, também, de se importar com a ausência desse reconhecimento (a clássica frase atual: *'não se importe com o que dizem'*), fazendo esse corpo, vivenciar ambivalencias, e talvez, sentir-se duplamente, os gostos de se sentir dejasustado e até, por vezes, rejeitados e excluidos.

Tensões entre cuidados de si, poderes de si e poderes dos outros, muitas vezes, são ofuscadas, em suas ambivalencias; e tem-se a busca, por explicar complexidades, por termos unicos e duais, de certo e errado; justo ou injusto, ofuscando tensões entre as verdades das mentiras, e as mentiras das verdades. Nisso, risos ainda zombam de nós mesmos, sempre que, temos luzes de consciencias, sobre nossas proprias contradições e as ambivalencias do que somos. Ambivalências do que somos que, ainda parecem ser, metodologicamente, caminhos adequados, para se pensar o corpo e a vida humana, enquanto multiplos e multáveis. Portanto, inclusive, múltiplos, em suas contradições, sobre o que somos, o que podemos ser, e o que admitimos ser.

6. Metodologia

Este estudo caracteriza-se como um ensaio teórico-interpretativo, de abordagem qualitativa e natureza bibliográfica, fundamentado principalmente na obra de Mikhail Bakhtin, especialmente em *A cultura popular na Idade Média e no Renascimento: o contexto de François Rabelais* (1987). O corpus teórico concentra-se nas categorias de realismo grotesco, corpo grotesco, ambivalência, inacabamento, rebaixamento, regeneração e nas relações entre corpo, sociedade e cosmo.

Como interlocução complementar, mobilizam-se autores como Norbert Elias e Michel Foucault, além de estudos contemporâneos sobre corpo, grotesco, transgressão e perspectiva bakhtiniana. A análise foi organizada a partir das categorias de ambivalência, inacabamento, abertura corporal, transformação, regeneração e relação entre individual e coletivo, utilizadas como chaves interpretativas.



O percurso analítico desenvolveu-se em dois movimentos: inicialmente, realizou-se uma leitura conceitual da obra de Bakhtin; em seguida, essas categorias foram colocadas em diálogo com questões contemporâneas relacionadas à representação, normatização, individualização e pluralização dos corpos. A ambivalência é compreendida como categoria analítica e interpretativa, e não como método autônomo.

A aproximação entre Bakhtin e a contemporaneidade é realizada de forma interpretativa, sem pressupor equivalência direta entre contextos históricos distintos. Desse modo, os resultados apresentam natureza argumentativa e teórica, decorrentes do diálogo entre a obra bakhtiniana, os referenciais complementares e as problematizações contemporâneas.

7. Resultados e Discussão

A análise permitiu identificar a ambivalência, o inacabamento e a abertura corporal como categorias centrais na concepção bakhtiniana do corpo grotesco. Esse corpo não é compreendido como unidade fechada ou estável, mas como realidade em permanente transformação, constituída nas relações entre o individual e o coletivo, o corporal e o mundo. Nessa perspectiva, morte e nascimento, degradação e regeneração, velho e novo coexistem de forma ambivalente, evidenciando que o grotesco não se reduz à deformidade ou à negatividade, mas expressa processos de renovação e devir.

No grotesco rabelaisiano, velho e novo coexistem como momentos de um processo regenerador; em determinadas representações contemporâneas, como aquela analisada por Kolotaev (2025), esses mesmos polos permanecem interdependentes, mas passam a ser vividos como incompatíveis — a juventude deve sobreviver mediante a rejeição da velhice. Assim, a ambivalência não desaparece completamente, mas pode perder sua capacidade integradora e regeneradora.

A dimensão coletiva do corpo grotesco pode ser compreendida também em termos de relacionalidade. Cosgrove (2024) destaca que o corpo carnavalesco-grotesco não constitui uma entidade individualizada e privada, mas um espaço de relação, intercâmbio e interdependência. Sua abertura coloca o corpo em contato não apenas com outros corpos humanos, mas também com corpos não humanos e com o mundo mais amplo no qual se encontra inserido.

Outro resultado refere-se ao caráter histórico e relacional das representações corporais. A passagem para a modernidade favoreceu processos de individualização, privatização, disciplinamento e normatização do corpo, aspecto que dialoga com Elias e Foucault. Ainda assim, o corpo permanece constituído por experiências, valores, normas, afetos e relações sociais, articulando dimensões materiais, culturais e históricas. Desse modo, individualidade não significa isolamento: o corpo é simultaneamente singular e relacional. A singularidade do corpo não implica sua compreensão como entidade isolada. A perspectiva bakhtiniana da alteridade permite reconhecer que a própria constituição do eu ocorre nas relações com o outro. Conforme Teixeira (2019), a experiência corporal possui dimensão relacional e axiológica, de modo que a singularidade do sujeito não elimina sua dependência constitutiva das relações sociais.



Na contemporaneidade, a ambivalência mostra-se produtiva como categoria analítica para compreender tensões entre autonomia e pertencimento, norma e transgressão, estabilidade e transformação, individualização e relação social. A coexistência de diferentes padrões corporais e estéticos demonstra que interpretações baseadas exclusivamente em oposições como belo/feio, normal/anormal ou natural/artificial tendem a simplificar fenômenos mais complexos.

A dimensão transgressiva do grotesco também encontra desdobramentos em manifestações contemporâneas. Mello (2025), ao analisar as obras de Fernanda Magalhães e Laura Aguilar, identifica no uso artístico de corpos não normativos uma estratégia de contestação dos discursos hegemônicos sobre beleza, normalidade e legitimidade corporal. Nesse contexto específico, o grotesco deixa de operar apenas como categoria de exclusão e pode ser apropriado como forma de agência, visibilidade e resistência.

A análise dos padrões corporais contemporâneos pode também ser relacionada à crítica bakhtiniana da finalização. McCaw (2022) evidencia que, no desenvolvimento do pensamento de Bakhtin, torna-se progressivamente relevante resistir às formas de compreensão que encerram a pessoa viva em uma imagem definitiva. Aplicada à corporeidade, essa perspectiva permite problematizar classificações que procuram reduzir sujeitos a identidades corporais estáveis, uma vez que a experiência do corpo permanece aberta ao tempo, às relações e à produção de novos sentidos.

Assim, o principal achado do estudo é que a atualidade do pensamento bakhtiniano não está na permanência histórica do corpo grotesco medieval, mas na produtividade das categorias de ambivalência e inacabamento para compreender o corpo como realidade histórica, relacional, plural e aberta à transformação. Essas categorias permitem problematizar representações excessivamente estáveis e dicotômicas do corpo contemporâneo. Esse resultado encontra respaldo em McCaw (2022), que identifica, ao longo da obra de Bakhtin, o deslocamento de concepções mais relacionadas à imagem relativamente acabada do corpo para formas de compreensão centradas no diálogo, no devir e na resistência à finalização. A corporeidade pode, assim, ser entendida não apenas como imagem atribuída ou percebida, mas como processo aberto de produção de sentidos. Esse resultado também encontra respaldo em Gómez Ponce (2022), cuja análise demonstra que o grotesco pode conservar sua produtividade heurística ao atravessar diferentes contextos históricos, desde que sejam reconhecidas as transformações de seus sentidos. Ao interpretar o *body horror* contemporâneo como uma manifestação historicamente modificada dessa tradição, o autor evidencia que metamorfose, inacabamento e materialidade corporal continuam capazes de revelar contradições e mutações culturais do tempo em que as imagens são produzidas.



Considerações finais

Este estudo teve como objetivo analisar a concepção de corpo ambivalente em Bakhtin, especialmente a partir de *A cultura popular na Idade Média e no Renascimento: o contexto de François Rabelais* (1987), considerando o corpo como uma realidade aberta, inacabada, múltipla e constituída nas relações entre o individual, o coletivo, o social e o mundo. A análise desenvolvida permitiu alcançar esse objetivo ao evidenciar que a ambivalência, o inacabamento e a transformação constituem elementos fundamentais da concepção bakhtiniana de corpo grotesco. O corpo, nessa perspectiva, não se apresenta como entidade estável ou definitivamente delimitada, mas como realidade em contínuo processo de constituição, renovação e ressignificação.

Os resultados também permitiram responder à questão de pesquisa referente à possibilidade de utilização da concepção bakhtiniana do corpo grotesco e ambivalente para a compreensão de formas contemporâneas de representação corporal. Constatou-se que a atualidade dessa concepção não reside na permanência histórica ou na reprodução direta do corpo grotesco medieval, uma vez que os contextos sociais e culturais são distintos, mas na produtividade teórica de categorias como ambivalência, inacabamento, abertura e transformação. Tais categorias possibilitam problematizar representações contemporâneas que tendem a compreender o corpo por meio de oposições rígidas, como belo/feio, normal/anormal, natural/artificial, individual/social ou estabilidade/mudança. A produtividade contemporânea do grotesco como categoria interpretativa também pode ser observada em estudos empíricos recentes. Mello (2025), ao mobilizar Bakhtin na análise de representações artísticas de corpos não normativos, demonstra que o grotesco permite examinar simultaneamente processos de estigmatização, visibilidade, resistência e ressignificação corporal. O estudo reforça, assim, a possibilidade de deslocar o grotesco de seu contexto histórico original sem pressupor sua reprodução integral na contemporaneidade.

Embora o estudo não tenha formulado originalmente uma hipótese empírica a ser testada, os resultados sustentam a proposição teórica implícita de que a concepção bakhtiniana de ambivalência permanece relevante como categoria interpretativa para a compreensão do corpo contemporâneo. Essa proposição foi corroborada no plano teórico, uma vez que a análise mostrou que os corpos continuam sendo atravessados por tensões entre individualidade e pertencimento, autonomia e normatização, permanência e transformação, aceitação e modificação. Nesse sentido, a ambivalência permite compreender que posições aparentemente contraditórias podem coexistir e participar simultaneamente da constituição das experiências e representações corporais.

Outro achado importante refere-se ao caráter histórico e relacional do corpo. As formas de percebê-lo, representá-lo e valorá-lo modificam-se de acordo com os contextos históricos e culturais. O diálogo estabelecido com Elias e Foucault reforça a compreensão de que processos de individualização, disciplinamento, privatização e normatização interferem nas maneiras pelas quais os sujeitos experienciam e significam seus corpos. Entretanto, tais processos não eliminam a dimensão relacional da corporeidade: o corpo permanece singular e, simultaneamente, constituído pelas relações sociais, culturais e históricas.

No contexto contemporâneo, a coexistência de diferentes padrões estéticos e formas de representação corporal também reforça a pertinência da ambivalência como chave interpretativa. A existência simultânea de diferentes modelos de beleza, saúde, identidade e apresentação do

corpo demonstra que a contemporaneidade não pode ser adequadamente compreendida pela existência de um único padrão corporal. Ao mesmo tempo, a pluralização desses modelos não elimina processos de normatização e pressão social, revelando novamente a coexistência entre forças aparentemente contraditórias.

A tensão contemporânea entre singularidade e pertencimento também pode ser compreendida à luz da alteridade bakhtiniana. Se a constituição do sujeito ocorre nas relações com o outro, como discute Teixeira (2019), a percepção do próprio corpo não pode ser inteiramente dissociada dos valores e avaliações socialmente produzidos. Desse modo, desejos de diferenciação corporal podem coexistir com a busca de reconhecimento e pertencimento, evidenciando novamente o caráter ambivalente da experiência corporal.

Entre as principais limitações do estudo destaca-se seu caráter exclusivamente teórico e interpretativo. Por não utilizar dados empíricos, as proposições desenvolvidas não permitem generalizações acerca das formas pelas quais indivíduos ou grupos sociais específicos vivenciam e representam seus corpos na contemporaneidade. As relações estabelecidas entre a concepção bakhtiniana e questões atuais devem, portanto, ser compreendidas como aproximações conceituais e não como demonstrações empíricas.

Outra limitação decorre da própria distância histórica entre o contexto analisado por Bakhtin e as sociedades contemporâneas. A cultura cômica popular medieval e renascentista apresenta especificidades que impedem a transposição direta de suas categorias para o presente. Assim, o estudo buscou utilizar a concepção bakhtiniana não como modelo histórico explicativo da contemporaneidade, mas como referencial capaz de oferecer categorias para sua problematização.

Também constitui uma limitação a amplitude do conceito de corpo mobilizado ao longo da discussão. A articulação entre dimensões históricas, sociais, culturais, simbólicas e materiais amplia as possibilidades interpretativas, mas exige cautela para que não sejam estabelecidas equivalências entre campos epistemológicos distintos. Especialmente as aproximações com dimensões biológicas, psicológicas ou neurocientíficas demandariam fundamentação específica e estudos próprios para que pudessem ser desenvolvidas de maneira mais aprofundada.

Como lacuna, identifica-se a necessidade de maior exploração da ambivalência como categoria analítica aplicada a objetos contemporâneos específicos. Embora o presente estudo tenha evidenciado sua produtividade teórica, ainda permanece aberta a possibilidade de investigar como essa ambivalência se manifesta concretamente em discursos, imagens, práticas e experiências corporais atuais. Também se mostra pertinente aprofundar o diálogo entre Bakhtin e estudos contemporâneos sobre corporeidade, normalização, estética, identidade, subjetivação e diversidade corporal.

Pesquisas futuras poderão, portanto, avançar por meio de estudos empíricos que utilizem a ambivalência e o inacabamento como categorias analíticas na investigação de fenômenos concretos. Entre as possibilidades estão a análise de discursos midiáticos e de redes sociais sobre o corpo, campanhas publicitárias, movimentos de aceitação corporal, discursos sobre saúde e estética, práticas de modificação corporal e diferentes formas de representação de corpos considerados normativos ou não normativos. Também poderão ser desenvolvidos estudos comparativos entre diferentes grupos sociais, gerações e contextos culturais, de modo a investigar como as tensões entre normalização, pertencimento, autonomia, transformação e aceitação corporal são produzidas e negociadas.



Outra possibilidade consiste em ampliar a discussão teórica mediante o diálogo entre Bakhtin e autores que abordam o corpo a partir de perspectivas distintas, buscando compreender convergências e limites entre conceitos como corpo grotesco, corporeidade, performatividade, subjetivação, disciplinamento e experiência incorporada. Tal caminho permitiria delimitar com maior precisão a contribuição específica da ambivalência bakhtiniana para os estudos contemporâneos do corpo.

Conclui-se, assim, que a contribuição central deste estudo está em demonstrar que a concepção bakhtiniana do corpo grotesco mantém relevância não porque descreva diretamente o corpo contemporâneo, mas porque oferece categorias capazes de problematizar sua complexidade. Ambivalência e inacabamento mostram-se particularmente fecundos para compreender o corpo como realidade histórica, relacional, plural e permanentemente aberta à transformação. Em vez de buscar eliminar suas contradições, a perspectiva bakhtiniana permite reconhecê-las como parte constitutiva da própria experiência corporal, contribuindo para interpretações menos rígidas e dicotômicas das múltiplas formas de ser, representar e viver o corpo na contemporaneidade.



REFERÊNCIAS

BAKHTIN, M. A cultura popular na Idade Média e no Renascimento: o contexto de François Rabelais. Hucitec-UnB, Brasília, 1987

BAKHTIN, M. Autor e personagem na atividade estética. In: BAKHTIN, M. Estética da criação verbal. 4. ed. Trad. Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2006, p.3-192. [1920-1924]

BAKHTIN, M. Para uma filosofia do ato responsável. Tradução: Valdemir Miotello e Carlos Alberto Faraco. São Carlos, SP: Pedro e João Editores, 2010. [1924/1986]

BASTOS, Rafael Lira Gomes. As disputas de sentido envolvendo o corpo homossexual masculino caracterizado como urso: um exemplo de análise dialógica. Bakhtiniana: Revista de Estudos do Discurso, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 35-56, out./dez. 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/2176-4573p58121. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bak/a/gLZPrztS4f5dW7MKzSMVYrM/. Acesso em: 30 ago. 2026.

CRESSWELL, James; TEUCHER, Ulrich. The body and language: M. M. Bakhtin on ontogenetic development. New Ideas in Psychology, v. 29, n. 2, p. 106-118, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2010.05.001

ELIAS, N. O processo civilizador. Volume I. Uma história dos costumes. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994

FOUCAULT, M. A história da Loucura. São Paulo: Perspectiva, 2004

GIDDENS, A. As consequências da modernidade. São Paulo: Unesp, 1991

GINZBURG, C. O queijo e os vermes - o cotidiano e as idéias de um moleiro perseguido pela Inquisição. São Paulo, Cia. das Letras, 2004.

GÓMEZ PONCE, Ariel. The horrors of the body: notes on Mikhail Bakhtin and the images of the grotesque body. Russian Journal of Bakhtin Studies, v. 4, n. 1, p. 4-12, 2022. Disponível em: https://bakhtiniada.ru/2658-5480/article/view/264992. Acesso em: 30 ago. 2026.

COSGROVE, Mary. The grotesque aesthetics of relationality: Sibylle Berg's GRM Brainfuck (2019). Oxford German Studies, v. 53, n. 1, p. 78-92, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/00787191.2024.2315886

KOLOTAEV, Vladimir A. Bakhtin's model of the grotesque body in Coralie Fargeat's film The Substance and split personality. Art & Culture Studies, n. 3, p. 458-473, 2025. DOI:

https://doi.org/10.51678/2226-0072-2025-3-458-473

LEITE, Francisco Benedito. Realismo grotesco e corpo grotesco em Bakhtin. Bakhtiniana, São Paulo, 18 (4): e62064p, out./dez. 2023. DOI 10.1590/2176-4573p62064

McCAW, Dick. Body, Image and Dialogue in Bakhtin's Thinking. Revista do Programa de Pós-Graduação em Letras da Universidade de Passo Fundo, v. 18, n. 3, p. 578-597, set./dez. 2022.

MELLO, Júlia. Freak to queer bodies: affirming the grotesque in contemporary art. Frontiers in Sociology, Lausanne, v. 10, art. 1435207, 24 jul. 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fsoc.2025.1435207. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/sociology/articles/10.3389/fsoc.2025.1435207/full. Acesso em: 30 ago. 2026.

PAIS, Ana Carolina. A linguagem carnavalesca enquanto discurso contracultural: reflexões sobre a obra de Mikhail Bakhtin. Linha D'Água, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 161–181, jan./abr. 2025. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2236-4242.v38i1p161-181. Disponível em: https://revistas.usp.br/linhadagua/article/view/226638. Acesso em: 30 ago. 2026.

SCHUTZ, Alfred. Fenomenologia e relações sociais. Organização e Introdução de Helmut R. Wagner. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1979.

TEIXEIRA, Marilia Dalva. Considerações sobre o corpo em Mikhail Bakhtin. Voluntas – Revista Internacional de Filosofia Santa Maria, v.10, n.1, 2019, p. 46-52 ISSN 2179-3786 DOI:10.5902/2179378636662

THOMPSON. E. P. A Formação da Classe Operária Inglesa. Vol. I - A árvore da liberdade. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987

VELHO, G. Individualismo e Cultura. Notas para uma antropologia da sociedade contemporânea. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2002

SOBRE OS ORGANIZADORES



SYNAPSE Editora

Compartilhando conhecimento

SOBRE OS ORGANIZADORES



Guilherme de Paula Rúbio

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, título obtido em 2025, onde também concluiu o mestrado na mesma área em 2020. É graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), campus Itabira, em 2017. Entre 2013 e 2017, foi membro da equipe de competição Fórmula SAE da UNIFEI, atuando no projeto estrutural e na análise do chassi e da suspensão do veículo por meio do método de elementos finitos (FEA). Complementarmente, entre 2014 e 2016, participou de projetos de iniciação científica com foco em simulação computacional de fluidos (CFD), desenvolvendo análises de perfis aerodinâmicos para aerogeradores e estudos termoaerodinâmicos de sistemas de escapamento automotivos. Desde 2018, é pesquisador do Laboratório de Bioengenharia (LabBio) da UFMG, onde conduziu suas pesquisas de mestrado e doutorado na área de projeto de próteses e órteses robóticas. Nesse período, publicou trabalhos relevantes, entre os quais se destacam: a análise de materiais para tendões artificiais aplicados em atuadores robóticos (Applied Sciences-Basel, 2020); o projeto de uma órtese robótica para reabilitação de membro superior em pacientes pós-Acidente Vascular Encefálico (AVE) (Robótica, 2022); e a proposição de um controlador baseado em aprendizado por reforço e em sinais de eletromiografia de superfície para próteses robóticas (Robotics, 2025). Atualmente, continua atuando no LabBio no desenvolvimento de controladores inteligentes baseados em inteligência artificial para próteses robóticas de membro superior. Suas principais áreas de interesse em pesquisa são: Robótica, Projeto de Máquinas, Controle de Sistemas Dinâmicos, Tecnologia Assistiva, Próteses e Órteses.

SOBRE OS ORGANIZADORES

MATHEUS CARVALHO BARBOSA COSTA



Graduado em Engenharia Mecânica (2021) pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sendo o formando medalhista de ouro (Medalha de ouro Agnelo Macêdo) por honra ao mérito por ter alcançado a maior média geral. Possui Mestrado em Engenharia Mecânica (2024), na área de concentração de Bioengenharia, pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Dinâmica dos Fluidos Computacional, Simulações numéricas fluido-estruturais, desenvolvendo pesquisa nas áreas de Mecânica dos Fluidos e Mecânica dos Sólidos direcionadas para o sistema cardiovascular. Além disso, tem experiência no desenvolvimento de bancadas experimentais para análises in-vitro do escoamento sanguíneo devido à participação como bolsista, nível iniciação científica, no projeto ''Trombos Venosos em Pacientes e Ratos em Uso de Cateter Venoso Central: Uma Análise Numérica, e Comparativa do Perfil Clínico, Bioquímico e Morfoestrutural.'' no período de 01/07/2019 até 31/05/2020. Atualmente está realizando o doutorado no Laboratório de Bioengenharia (LABBIO-UFMG), estudando o fenômeno de Flutter em próteses de válvulas cardíacas.

https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115

https://www.instagram.com/synapseeditora

https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/

31 98264-1586

editorasynapse@gmail.com



SYNAPSE
Editora

Compartilhando conhecimento