

++++
++++
++++
++++



++++
++++
++++
++++

Open Science Research

++++
++++
++++
++++

XIX

++++
++++
++++
++++



científica digital



EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA

Guarujá - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2025 Editora Científica Digital
Equipe Editorial	Texto © 2025 Os Autores
Imagens da Capa	1ª Edição - 2025
Adobe Stock - 2025	Acesso Livre - Open Access

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O61 Open science research XIX / Editora Científica Digital (Organização). – Guarujá-SP: Científica Digital, 2025.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-5360-944-0
DOI 10.37885/978-65-5360-944-0

1. Ciências. 2. Coletânea multidisciplinar. I. Editora Científica Digital (Organização). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Coletânea

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2025

Open Science Research XIX

1ª EDIÇÃO



científica digital

2025 - GUARUJÁ - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra é fruto de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores cujo envolvimento enriqueceu significativamente as discussões neste espaço formativo. Além disso, resulta de iniciativas interinstitucionais e ações voltadas ao incentivo à pesquisa, congregando especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a Instituições de Educação Superior, públicas e privadas, em âmbito nacional e internacional.

Seu principal objetivo é fortalecer a integração entre instituições, tanto no Brasil quanto no exterior, por meio de redes de pesquisa comprometidas com a formação continuada de profissionais da educação. Para isso, busca-se a produção e a ampla disseminação do conhecimento em distintas áreas do saber.

Expressamos nossa profunda gratidão aos autores pelo empenho, comprometimento e dedicação na concepção e finalização desta obra. Esperamos que ela se consolide como um recurso didático-pedagógico valioso, atendendo às necessidades de estudantes, docentes de todos os níveis de ensino e demais interessados na temática.

Os organizadores

SUMÁRIO

Capítulo 01

A QUÍMICA FORENSE COMO ESTRATÉGIA DIDÁTICA: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO *STRICTO SENSU* NO BRASIL VIA MINERAÇÃO DE TEXTO

Flávio Leite Rodrigues; Galileu Batista de Sousa; Marcelo de Andrade Lima Maia

doi 10.37885/250419248 11

Capítulo 02

AÇAÍ (*EUTERPE PRECATORIA MART*): RECURSO ERGOGÊNICO E NUTRICIONAL PARA ATLETAS

Ozanildo Vilaça do Nascimento; Sylvia Correia de Almeida; Carlos Masashi Otani; Ivan Ferreira de Jesus; Daurimar Pinheiro Leão

doi 10.37885/250319003 28

Capítulo 03

ANTIOXIDANT AND ANTICANCER ACTIVITY IN VITRO OF *CHENOPODIUM AMBROSIODES* L. ESSENTIAL OIL

Gustavo Oliveira Everton; Ana Paula Muniz Serejo; Mariana Oliveira Arruda; Maria Cristiane Aranha Brito Mattos; Paulo Roberto Barros Gomes; Silvio Carvalho Marinho; Djavânia Azevedo Luz; Maria da Glória Almeida Bandeira; Arthur Rocha Dantas; Victor Elias Mouchrek Filho

doi 10.37885/250319071 47

Capítulo 04

ANTIOXIDANT AND ANTICANCER ACTIVITY IN VITRO OF *SYZYGium AROMATICUM* ESSENTIAL OIL

Gustavo Oliveira Everton; Ana Paula Muniz Serejo; Mariana Oliveira Arruda; Maria Cristiane Aranha Brito Mattos; Paulo Roberto Barros Gomes; Silvio Carvalho Marinho; Djavânia Azevedo Luz; Maria da Glória Almeida Bandeira; Arthur Rocha Dantas; Victor Elias Mouchrek Filho

doi 10.37885/250319073 64

Capítulo 05

ATIVIDADE ALELOPÁTICA DE EXTRATOS DE ADUBOS VERDES SOBRE A GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *BIDENS PILOSA* L., (*ASTERACEAE*, PICÃO-PRETO)

Rennan Oliveira Meira; Raquel Valmorbida; Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice; Weverton Krein; Andréa Maria Teixeira Fortes

doi 10.37885/250419190 79

Capítulo 06**BIBLIOTECA ESCOLAR FAROL DA EDUCAÇÃO JOSUÉ MONTELLO: ENTRE O IDEAL E O REAL**

Jackeline de Freitas Nunes

doi 10.37885/250419238 102**Capítulo 07****CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL LEISHMANICIDA DE *AMPHILOPHIUM ELONGATUM***

Fabrícia Petrolini de Sena do Nascimento; Viviani Motta Ferreira; Sarah Cristina Andrade Silva; Osvaline Júnior Alvarenga; Matheus Henrique Marques Zago; Valéria Maria Melleiro Gimenez; Wilson Roberto Cunha; Márcio Luís Andrade e Silva; Lizandra Guidi Magalhães; Patrícia Mendonça Pauletti

doi 10.37885/250319054 129**Capítulo 08****CARCINOMA PAPILÍFERO RENAL AVANÇADO EM PACIENTE IDOSO COM MÚLTIPLAS COMORBIDADES: RELATO DE CASO**

Robson Salaroli; Marlei Lage Camargo

doi 10.37885/250419263 142**Capítulo 09****CEFALÉIA TENSIONAL EM ADULTOS: DIAGNÓSTICO CLÍNICO, IMPACTOS FUNCIONAIS E ABORDAGENS TERAPÊUTICAS INTEGRADAS**

Gustavo de Oliveira Reis

doi 10.37885/250419204 151**Capítulo 10****CRANBERRY: PODER ANTIOXIDANTE E ANTI-INFLAMATORIO**

Amanda Dorta Maestro; Maicon Henrique Braz Garcia; Samanta Shiraishi Kagueyama; Nicolas Bueno Mordhost Zeraik; Tayane Siqueira Garcia Alves; Danieli Suzan Valério; Elizangela Regina da Silva

doi 10.37885/250318987 168**Capítulo 11****DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UNA ANTENA MICROSTRIP PATCH A 5.8 GHZ USANDO UN SUSTRATO FR4**

Ruben Dario Florez-Zela; Facundo Palomino-Quispe; Ana Beatriz Alvarez; Roger Jesus Coaquira-Castillo; Willy Vargas-Mateos; Jhohan Jancco-Chara

doi 10.37885/250319026 179

Capítulo 12

ENERGIA SOLAR NA CONSTRUÇÃO CIVIL NOS GERAIS DE BALSAS, MARANHÃO: UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE

Natália dos Santos Mota; Vinicius Farias de Albuquerque; Regina Maria Mendes Oliveira

doi 10.37885/250519295 201

Capítulo 13

“GUIA TÉCNICO DE SOLUÇÕES TAMPÃO: FUNDAMENTOS E PROTOCOLOS”

Bruno Henrique de Oliveira; Valéria Marta Gomes do Nascimento

doi 10.37885/250519322 225

Capítulo 14

HIDROGÉIS COMO SISTEMAS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE FÁRMACOS EM TERAPIAS DERMATOLÓGICAS: POTENCIAIS AVANÇOS E DESAFIOS

Carla Verônica Rodarte de Moura; Palloma Assunção Pereira; Jefferson Magalhães de Oliveira

doi 10.37885/250319060 248

Capítulo 15

IN VITRO* ANTAGONISTIC ACTIVITY OF BACTERIAL PRODUCTS AGAINST RACES OF *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *LYCOPERSICI

Eder Marques; Moisés Rodrigues Silva; Gabriel Silva Costa; Wanessa Mendanha Soares; Marcos Gomes da Cunha

doi 10.37885/250319008 273

Capítulo 16

MANEJO E TRATAMENTO DA DOR ONCOLÓGICA EM CÃES E GATOS

Carlos Eduardo de Siqueira; Laura Beatriz Sabino; Paulo Sérgio Patto dos Santos

doi 10.37885/250419215 287

Capítulo 17

MAPPING OF WEEDS IN CROPS OF SUGARCANE BY IMAGES OBTAINED FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

Incio Henrique Yano; Jose Ricardo Alves; Nelson Felipe Oliveros Mesa; Barbara Teruel

doi 10.37885/250319077 305

Capítulo 18**PERCEÇÃO DO SUPORTE ORGANIZACIONAL E QUALIDADE DE VIDA EM PROFISSIONAIS DO SISTEMA ÚNICO DE ASSISTÊNCIA SOCIAL (SUAS)**

Micaele Daline Apolonio da Fonseca; Andrea Cristina Fermiano Fidelis; Nilton S. Formiga; Samira Celeste Rocha de Souza; Cláudia Regina Bastos Praxedes Barros; Ana Efigênia Rodrigues dos Santos

 10.37885/250319086 328

Capítulo 19**PREVALÊNCIA E FATORES DE RISCO DE INFECÇÕES DO TRATO URINÁRIO RELACIONADAS COM O CATETER VESICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Ana Luísa Esteves Fernandes; Júlia Gabriela Aguiar Santos Almeida; Leonel São Romão Preto

 10.37885/250319035 349

Capítulo 20**PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SEMENTES DE MILHO TRATADAS COM AGROQUÍMICOS**

Gustavo Henrique Gravatim Costa; Luís Gustavo Cardoso Moraes; Giovanni Uema Alcântara

 10.37885/250218919 363

Capítulo 21**PROVISÃO PARA DEVEDORES DUVIDOSOS E CARTEIRA DE CRÉDITO EM BANCOS BRASILEIROS**

Highlander Bruno Ribeiro Barros; Allan Pinheiro Holanda

 10.37885/250319031 375

Capítulo 22**RELATO DE CASO: MÚLTIPLAS NEOPLASIAS MALIGNAS PRIMÁRIAS UROLÓGICAS EM PACIENTE MASCULINO DE 58 ANOS**

Nívea Carolina Soares Silva Medina; Robson Salaroli

 10.37885/250419188 385

Capítulo 23

RESPOSTA FISIOLÓGICA DE SEMENTES E PLÂNTULAS DE *SOLANUM LYCOPERSICUM* SUBMETIDAS À EXSUDATOS DE SEMENTES DE *CAJANUS CAJAN* E *BAUHINIA FORFICATA*

Raquel Valmorbida; Rennan Oliveira Meira; Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice; Weverton Krein; Andréa Maria Teixeira Fortes

doi 10.37885/250419184 394

Capítulo 24

SÍNDROME DE BURNOUT EM PROFISSIONAIS DE ENFERMAGEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Liliana Gomes Nascimento; Tânia Marisa Santos Rebelo; Leonel São Romão Preto

doi 10.37885/250319076 410

Capítulo 25

SOCIEDADE DO CONHECIMENTO E O USO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO: POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA O ACESSO AO CONHECIMENTO

Jackeline de Freitas Nunes

doi 10.37885/250419233 423

Capítulo 26

TENDÊNCIA TEMPORAL DO EXCESSO DE PESO E OBESIDADE EM ADULTOS DE RIO BRANCO, ACRE, E PORTO VELHO, RONDÔNIA

Daiane Alves do Nascimento; Orivaldo Florencio de Souza

doi 10.37885/250319027 439

Capítulo 27

UNRESTRICTED ONE-DIMENSIONAL METHODS APPLIED TO SOLVING NON-LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS

Simone Silva Frutuoso de Souza

doi 10.37885/250218872 450

ÍNDICE REMISSIVO 467

A QUÍMICA FORENSE COMO ESTRATÉGIA DIDÁTICA: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO *Stricto sensu* NO BRASIL VIA MINERAÇÃO DE TEXTO

Flávio Leite Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Galileu Batista de Sousa

Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN)

Marcelo de Andrade Lima Maia

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

RESUMO

Objetivo: Este estudo teve como objetivo analisar o panorama das dissertações de mestrado stricto sensu desenvolvidas no Brasil que utilizaram a Química Forense como estratégia didática no ensino de Química. Buscou-se identificar os enfoques temáticos, a distribuição institucional e regional das pesquisas e os métodos pedagógicos adotados. **Métodos:** A coleta de dados foi realizada no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, utilizando seis palavras-chave relacionadas à Química Forense e ao ensino. Foram selecionadas 19 dissertações, cujos resumos foram analisados por meio da modelagem de tópicos (LDA), utilizando o pacote gensim em Python. O corpus passou por tokenização, limpeza, lematização e construção de n-grams para estruturação textual. **Resultados:** A modelagem indicou que a maioria das dissertações se concentra em atividades práticas, experimentais e investigativas. Os tópicos extraídos revelaram ênfase em simulações de cenas de crime, argumentação científica, análise de substâncias químicas e metodologias lúdicas. Observou-se forte alinhamento com os princípios da Aprendizagem Significativa e da Educação CTS. Também foi identificada predominância de trabalhos em instituições federais, especialmente da região Sudeste. **Conclusão:** A Química Forense mostrou-se eficaz para contextualizar conceitos abstratos da Química, promovendo aprendizagens significativas e uma formação científica crítica e cidadã. Apesar dos avanços, verificaram-se lacunas relacionadas à abordagem de aspectos epistemológicos, éticos e sociotécnicos, sugerindo direções relevantes para futuras investigações.

Palavras-chave: química forense; ensino de química; modelagem de tópicos; aprendizagem significativa.

INTRODUÇÃO

A química forense é o campo da ciência que aplica conhecimentos e técnicas da química para investigar materiais relacionados a possíveis crimes ou litígios. Seu papel é analisar substâncias como drogas, venenos, resíduos de explosivos, fluidos biológicos, entre outros, a fim de obter informações que possam ser utilizadas em processos judiciais. A partir de métodos da química analítica, orgânica, inorgânica e físico-química, os profissionais forenses conseguem identificar substâncias, determinar suas composições e inferir relações entre evidências e eventos criminosos (YADAV *et al.*, 2023). A química forense tem se destacado como uma estratégia educacional inovadora no Brasil, atraindo interesse acadêmico devido ao seu potencial em promover aprendizagens significativas e contextuais no ensino de química. Neste contexto, o presente estudo buscou responder à seguinte questão de pesquisa: *qual o panorama das pesquisas stricto sensu desenvolvidas no Brasil sobre o uso da química forense como prática didática?*

Para isso, realizou-se uma análise das dissertações de mestrado disponíveis em repositórios acadêmicos nacionais, utilizando-se uma abordagem computacional baseada em modelagem de tópicos via *Latent Dirichlet Allocation* - LDA (BLEI; NG; JORDAN, 2003) implementada em Python. A análise quantitativa demonstrou que a organização dos tópicos identificados apresentou maior coerência quando estruturada em dez tópicos distintos, favorecendo uma interpretação mais robusta e clara dos dados. Observou-se uma distribuição desigual dos tópicos predominantes entre as dissertações, com destaque significativo para abordagens experimentais e práticas simuladas relacionadas à análise de cenas de crime e situações investigativas no ambiente escolar. Termos frequentemente identificados, como “cena_crime”, “impressões_digitais” e “produto_educacional”, confirmam a prevalência de estratégias práticas e experimentais no ensino da química forense.

A análise qualitativa dos tópicos revelou agrupamentos temáticos distintos e bem definidos, enfatizando aspectos como argumentação científica, análise química prática, atividades experimentais e metodologias lúdicas. Adicionalmente, foram verificadas conexões conceituais sólidas entre os termos encontrados

em cada tópico, reforçando a clareza semântica e a distinção temática proporcionada pela modelagem computacional.

O exame das características institucionais das pesquisas indicou a predominância das universidades federais, principalmente das regiões Sudeste e Sul do país, e destacou as metodologias investigativas e experimentais como predominantes na aplicação pedagógica da química forense. Os resultados apresentados contribuem para uma compreensão mais aprofundada das tendências, limitações e possibilidades na utilização da química forense como prática didática, oferecendo subsídios para futuras pesquisas e aplicações educacionais na área.

MÉTODOS

Revisão integrativa

A metodologia adotada na pesquisa foi baseada na revisão integrativa, método reconhecido pela sua capacidade em reunir e sintetizar de forma sistemática o conhecimento científico já existente sobre uma temática específica, possibilitando uma análise abrangente do problema estudado (CUNHA; SOUSA, 2022). A pesquisa seguiu as recomendações para a condução de revisões sistemáticas integrativas em seis etapas, conforme proposto para garantir a qualidade metodológica do processo (MARINI; LOURENÇO; BARBA, 2017):

1. Identificação do tema e a seleção da questão de pesquisa;
2. Estabelecimento de critérios objetivos de inclusão e exclusão para a seleção dos textos;
3. Identificação dos estudos préselecionados e selecionados;
4. Categorização dos estudos selecionados;
5. Análise e interpretação dos resultados; e
6. Apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

A primeira etapa tratou da definição da questão da pesquisa e de objetivo, universo e parâmetros metodológicos básicos. Na segunda, foi realizada busca de trabalhos científicos. A coleta dos dados foi realizada por meio de uma busca

sistemática no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, com o objetivo de identificar dissertações de mestrado que abordassem o uso da Química Forense como estratégia didática no Brasil. Para assegurar a abrangência e a relevância dos resultados, foram utilizadas seis palavras-chave estratégicas: "química forense", "ciências forenses", "ensino", "escola", "didática" e "prática".

As combinações desses termos permitiram a identificação de produções alinhadas aos objetivos da pesquisa. A busca foi realizada ao longo de abril de 2025. Como critérios de inclusão, consideraram-se pesquisas *stricto sensu* disponíveis em texto completo e escritas em língua portuguesa, cujo foco estivesse relacionado à aplicação da química forense em práticas educativas. Trabalhos que não tratassem do ensino de química ou que abordassem exclusivamente aspectos técnicos da perícia forense, sem vínculo com práticas pedagógicas, foram excluídos da análise. Após a triagem, foram selecionadas 19 dissertações para composição da base de dados analisada. Visando obter maior amplitude na busca, não foram aplicados filtros de horizonte temporal.

Esse processo de filtragem resultou, após eliminação de duplicatas e de trabalhos fora do escopo da pesquisa, em um conjunto final de 19 trabalhos científicos relevantes para sintetizar o estado atual da pesquisa *stricto sensu* brasileira sobre o tema da química forense como estratégia didática.

A terceira etapa, identificação dos estudos, envolveu ainda a construção de uma planilha para identificação dos textos com título, autor, ano de publicação, instituição de ensino superior, tipo de pesquisa, abordagem metodológica, instrumentos de coleta de dados, instrumentos de análise dos dados e referenciais teórico-conceituais (CUNHA; SOUSA, 2022). Na quarta, para auxiliar a categorização dos estudos selecionados, além de uma análise temática convencional, foi realizada a análise textual a partir da mineração de texto por meio da modelagem de tópicos. Para tal fim, a pesquisa seguiu um conjunto de quatro etapas a serem observadas na validação, avaliação e interpretação da modelagem de tópicos, conforme recomendado na literatura especializada (WESTON *et al.*, 2023):

Etapa 1: Formação de Hipóteses e Perguntas;

Etapa 2: Design e Coleta de Dados;

Etapa 3: Pré-processamento; e

Etapa 4: Modelagem de Tópicos.

Na quinta etapa; referente ao processo de análise e interpretação dos resultados e a sexta etapa; que se refere à síntese; serão discutidas nas próximas seções.

Mineração de texto via modelagem de tópicos

Um panorama das principais técnicas de análise de texto, classificadas conforme o nível de automação computacional, destaca a análise temática (AT) como uma das abordagens centrais, frequentemente associada às metodologias de teoria fundamentada. A AT é um método interpretativista que visa criar e refinar teorias com base na interpretação e no significado atribuído pelas pessoas às suas experiências e contextos (BANKS *et al.*, 2018). Esta abordagem é comumente utilizada com dados coletados por meio de entrevistas transcritas, observações de participantes e textos arquivados. O processo envolve a identificação iterativa de códigos e categorias que emergem diretamente do texto. Essa técnica, embora ofereça uma compreensão profunda dos fenômenos estudados, é considerada demorada e sujeita a vieses, exigindo um conhecimento substancial do domínio de interesse.

Outras técnicas mencionadas pelos autores são a análise de conteúdo (AC) e os métodos baseados em dicionários, que quantificam a frequência de palavras ou frases específicas em um texto. Esses métodos permitem uma abordagem mais quantitativa para perguntas de pesquisa tradicionalmente qualitativas, reduzindo os dados textuais a contagens de frequência de palavras.

Ainda são abordadas as técnicas de *Bag-of-Words* (BOW) e *Natural Language Processing* (NLP) que representam abordagens mais automatizadas na análise de textos. Estas ferramentas para análise textual podem utilizar aprendizado de máquina, permitindo que softwares aprendam a realizar tarefas de classificação e organização de textos de forma semiautomática ou completamente automática.

As abordagens *Bag-of-Words* (BOW) podem ser classificadas em supervisionadas e não supervisionadas, variando conforme o objetivo e o contexto da

pesquisa. Enquanto os métodos supervisionados partem de categorias pré-definidas pelo pesquisador, os não supervisionados permitem que os agrupamentos de palavras e temas emergjam dos próprios dados, aproximando-se da lógica da análise temática, mas com maior grau de automação (ROBERTS *et al.*, 2014).

Dentro dos métodos não supervisionados, a modelagem estruturada de tópicos combina as vantagens da análise temática (ou seja, o discernimento humano) com as do aprendizado de máquina (ou seja, a análise rápida de grandes quantidades de texto). A modelagem de tópicos estrutural utiliza aprendizado de máquina não supervisionado para identificar temas baseados na distribuição de palavras, diferentemente do método supervisionado que requer que temas sejam definidos manualmente pelo analista.

O processo de modelagem de tópicos permite a descoberta de organizações textuais novas ou subestimadas, gerando temas interpretáveis a partir dos dados sem a necessidade de conhecimento prévio específico. Os documentos são representados como vetores de palavras, possibilitando que cada um seja associado a uma combinação de diferentes tópicos, em contraste com abordagens que atribuem um único tema por texto. Isso favorece uma compreensão mais rica e multifacetada do conteúdo analisado, com os tópicos sendo aprendidos diretamente a partir dos dados (ADAMS; MOURTGOS; NIX, 2023). Na pesquisa atual, a ferramenta computacional utilizada para implementar a modelagem de tópicos foi o pacote gensim, na linguagem Python (HUANG, 2023).

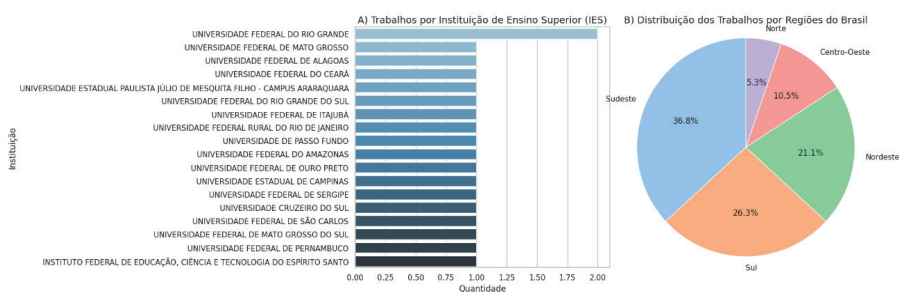
RESULTADOS

A distribuição das pesquisas *stricto sensu* sobre a utilização da química forense como estratégia didática revelou uma produção constante e uniforme no período analisado, indicando um interesse contínuo pelo tema ao longo dos anos. Quanto às instituições de ensino envolvidas, destacou-se a participação significativa das universidades federais, especialmente das regiões Sudeste e Sul do Brasil, refletindo seu papel predominante na produção acadêmica voltada ao uso da Química Forense no contexto educacional.

A predominância das metodologias investigativas e experimentais identificadas nas dissertações analisadas reflete uma tendência clara de abordar a química forense sob uma ótica prática e aplicada ao ensino, alinhada à busca

por soluções pedagógicas que promovam aprendizagens contextualizadas e significativas. Essa preferência pelas abordagens práticas e experimentais contrasta com abordagens puramente teóricas ou bibliográficas, reforçando a relevância da aplicação direta dos conceitos forenses em situações didáticas reais e simuladas no ambiente escolar. A caracterização das dissertações analisadas é apresentada na Figura 1, contemplando a distribuição por instituições de ensino superior, regiões brasileiras, linha do tempo das defesas e metodologias empregadas nos estudos sobre o uso da química forense como prática didática.

Figura 1. Caracterização das dissertações sobre química forense como estratégia didática no Brasil.



Fonte: Os autores (2025).

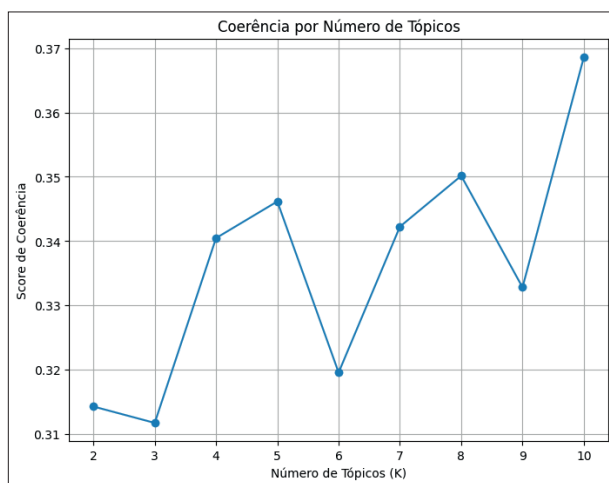
Para possibilitar a abordagem BOW (Bag-of-Words) de forma não supervisionada, os arquivos PDF das dissertações foram processados utilizando o pacote gensim na linguagem Python. As palavras foram organizadas em uma matriz de termos por documento, na qual cada coluna representa o resumo de uma dissertação e cada linha corresponde a um token, ou palavra distinta. Nesse processo de tokenização, as frases foram reduzidas a palavras individuais para viabilizar a análise textual.

A etapa de pré-processamento contemplou a transformação dos tokens para letras minúsculas, a remoção de espaços em branco, pontuações e caracteres especiais. Procedeu-se também à remoção de **palavras de parada**, que são termos extremamente frequentes e que não agregam valor informativo à identificação dos tópicos. Adicionalmente, foi aplicada a **lematização**, visando reduzir as palavras às suas raízes (por exemplo, "cena" e "cenas" foram normalizadas como "cena"), facilitando a robustez da modelagem subsequente (BANKS *et al.*, 2018).

Finalizadas as etapas de limpeza, a modelagem de tópicos foi realizada para identificar os temas latentes presentes nos resumos analisados. Não há um consenso definitivo sobre o número ideal de tópicos para um dado conjunto textual, e não existem testes estatísticos conclusivos para definir a qualidade ideal de uma solução de tópicos (GRIMMER; STEWART, 2013).

Para a definição do número ótimo de tópicos (K), foi utilizado o score de coerência como métrica principal, medida largamente aceita na literatura por sua capacidade de refletir o grau de semelhança semântica entre as palavras mais representativas de cada tópico. Buscou-se maximizar a coerência semântica para a escolha de K (MARCOLIN *et al.*, 2023). A Figura 2 apresenta o gráfico de coerência calculada para diferentes valores de K entre 2 e 10.

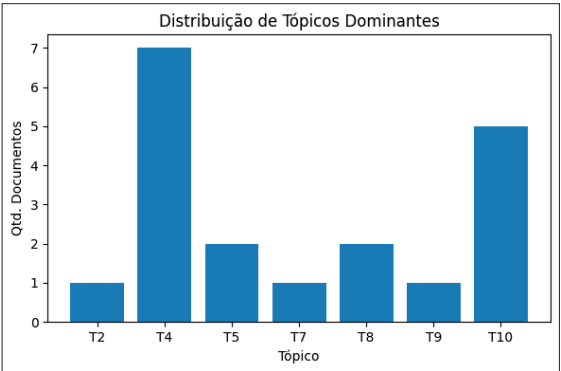
Figura 2. Coerência e números de tópicos.



Fonte: Os autores (2025).

Observou-se que o valor de **K=10** foi o que apresentou a melhor performance de coerência, justificando sua escolha para a modelagem final. A distribuição dos tópicos dominantes por documento, ilustrada na Figura 3, revela que, embora a distribuição tenha se concentrado em alguns poucos tópicos (especialmente o Tópico 4, relacionado a práticas experimentais com cenas de crime simuladas), houve uma dispersão temática significativa entre os documentos analisados, evidenciando a diversidade de enfoques na aplicação da Química Forense como prática didática.

Figura 3. Distribuição de tópicos dominantes.



Fonte: Os autores (2025).

A análise dos tópicos modelados a partir das dissertações sobre o uso da química forense como prática didática permitiu identificar diferentes focos de interesse dentro da produção acadêmica nacional. Os tópicos extraídos mostraram abordagens que vão desde atividades investigativas escolares até aplicações experimentais e lúdicas da ciência forense no ensino. O quadro 1 apresenta uma síntese dos principais focos temáticos encontrados:

Quadro 1. Tópicos e respectivos focos temáticos.

Tópico	Foco Principal	Evidências (Termos Relevantes)
1	Análise de casos de crime em grupo	estudante, grupo, crime, análise, artigo
2	Argumentação científica e investigação	argumento, investigação, estudante, crime
3	Atividades experimentais e questionário	experimento, questionário, estudante, crime
4	Práticas investigativas e cena do crime	grupo, cena_crime, investigação, análise
5	Ensino de conceitos de concentração e soluções	concentração, solução, estudante
6	Análise investigativa aplicada ao ensino	investigação, análise, estudante, digital
7	Uso de reagentes químicos e experimentos forenses	experimento, digital, luminol, ninidrina
8	Metodologias lúdicas e jogos pedagógicos	lúdico, jogo, pedagógico, experimental
9	Produção de artigos e divulgação de análises	artigo, revista, análise, crime
10	Análise de combustíveis e substâncias	gasolina, combustível, orgânico, grupo

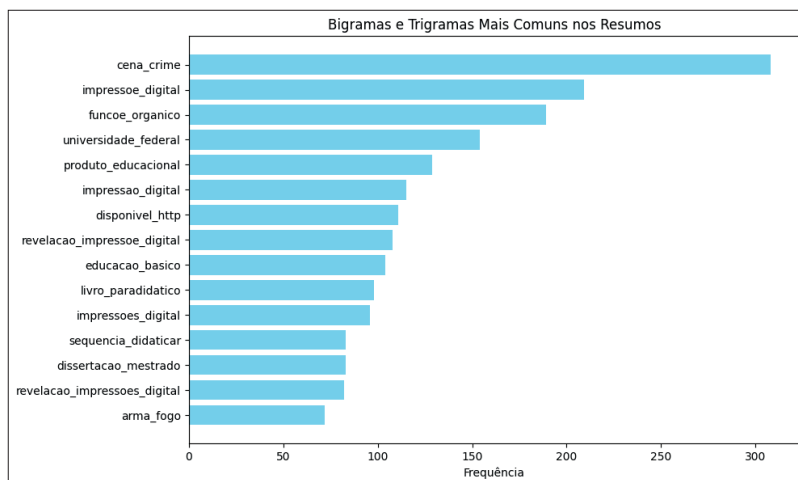
Fonte: Os autores (2025).

Os resultados revelam que os trabalhos exploraram atividades de investigação forense adaptadas à realidade escolar, com forte ênfase em experiências práticas (Tópicos 3, 4 e 7) e desenvolvimento do raciocínio crítico e argumentativo (Tópico 2). Ademais, a presença de metodologias lúdicas (Tópico 8) e

discussões relacionadas às propriedades químicas de substâncias comuns (Tópico 10) demonstra a diversidade de abordagens no uso da química forense para fins educativos.

A análise dos bigramas e trigramas mais frequentes, representada na Figura 4, revela termos compostos de alta relevância no contexto da pesquisa educacional em Química Forense. A alta frequência de expressões como **“cena_crime”**, **“impresso_digital”**, **“funcao_organico”** e **“produto_educacional”** evidencia que o enfoque prático, voltado à simulação de situações investigativas e à produção de materiais didáticos, é uma estratégia recorrente nas dissertações analisadas.

Figura 4. Grupamentos de n-gramas mais comuns encontrados.



Fonte: Os autores (2025).

A Figura 5, por sua vez, apresenta as nuvens de palavras associadas a cada tópico modelado. Observa-se que termos como **“estudante”**, **“análise”**, **“crime”**, **“experimento”** e **“grupo”** dominam diversos tópicos, reforçando o foco na aprendizagem ativa e investigativa. Cada nuvem oferece uma síntese visual intuitiva dos principais conceitos que estruturam os temas latentes encontrados. Por exemplo, a forte presença de **“gasolina”** e **“combustível”** no Tópico 10 indica projetos focados na análise química de substâncias, enquanto a palavra **“lúdico”** no Tópico 8 sinaliza o uso de metodologias pedagógicas mais interativas.

[illegible]

Fonte: Os autores (2025).

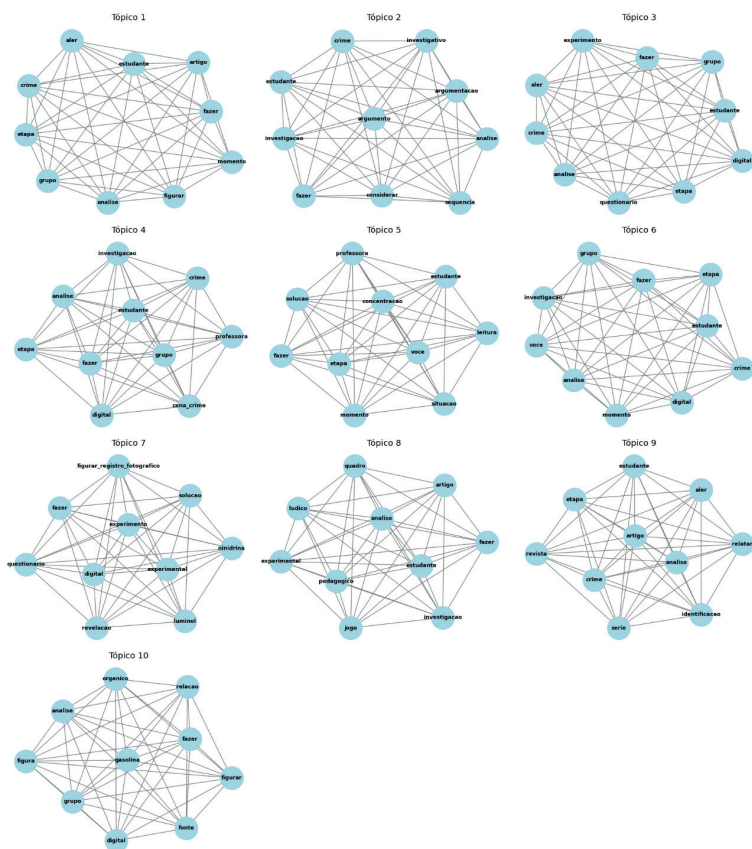
Essas duas representações visuais trazem vantagens metodológicas importantes. O uso de **n-grams** permite identificar não apenas palavras isoladas, mas **conceitos compostos** que são semanticamente mais ricos e específicos, evitando ambiguidades comuns no processamento de palavras individuais. Já as **nuvens de palavras** proporcionam uma forma de **interpretação rápida e intuitiva** dos focos temáticos dos tópicos modelados, facilitando tanto a análise exploratória quanto a comunicação dos resultados para públicos acadêmicos e não acadêmicos. Assim, ambas as abordagens funcionam de maneira complementar: enquanto os *n-grams* aprofundam a precisão conceitual da análise, as nuvens de palavras ampliam sua acessibilidade e impacto visual.

Além da análise textual quantitativa, foram gerados grafos de co-ocorrência para os principais tópicos identificados. Cada grafo destaca os termos mais relevantes de cada agrupamento temático e suas conexões internas. Observou-se que temas como ensino de química forense para desenvolvimento de práticas

investigativas, metodologias ativas focadas em aprendizagem significativa e aplicação de conteúdos de química orgânica em simulações forenses são os eixos estruturantes da produção analisada. Essa abordagem gráfica complementa a análise tradicional ao evidenciar a arquitetura semântica dos tópicos, facilitando a interpretação das relações entre conceitos-chave.

A figura 6 demonstra que os grafos revelam a **força conceitual de um tópico** pode ser visualizada não apenas pela frequência das palavras, mas também **pela estrutura de suas conexões**. Tópicos focados em ações práticas (análises forenses, argumentação, simulações de crime) tendem a gerar **estruturas centralizadas**, enquanto tópicos mais conceituais ou metodológicos distribuem melhor suas relações internas.

Figura 6. Grafos gerados a partir dos 10 tópicos.



Fonte: Os autores (2025).

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitem compreender como a química forense tem sido explorada como estratégia didática nas dissertações brasileiras de mestrado. A análise temática via modelagem de tópicos evidenciou uma forte presença de práticas investigativas e experimentais, especialmente voltadas para simulações de cenas de crime, argumentação científica, análise de substâncias químicas comuns e abordagens lúdicas.

Sob a perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa, desenvolvida por David Ausubel nos anos de 1963, 1968 e reiterada em 2003, a preferência por práticas investigativas baseadas em contextos concretos, como simulações de cenas de crime e experimentações laboratoriais, se justifica pela capacidade desses contextos de ativar subsunçores já existentes nos alunos (COELHO; MARQUES; SOUZA, 2019). A teoria afirma que a aprendizagem significativa ocorre quando ideias expressas simbolicamente interagem de forma substantiva e não arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do sujeito. Essa interação não literal e especificamente relevante com conhecimentos prévios favorece uma integração mais estável e duradoura de novos conceitos. Assim, a ênfase da teoria recai sobre o conjunto de saberes que o aprendiz já possui, considerado por Ausubel como a variável isolada mais importante da aprendizagem. Esse conhecimento prévio é denominado subsunçor e pode variar em estabilidade e carga de significados.

Se compararmos a estrutura cognitiva de um aprendiz a uma árvore, os ramos representam compartimentos de conhecimento e os galhos, os subsunçores — estruturas sobre as quais novos conhecimentos se ligam, formando extensões e ramificações mais robustas. Quanto mais estruturado e carregado de significado for esse galho, mais estável e profunda será a aprendizagem promovida por meio da contextualização significativa de conceitos abstratos da Química em situações reais e socialmente relevantes, como a resolução de crimes (COELHO; MARQUES; SOUZA, 2019).

Além disso, a Química Forense, conforme evidenciado nos tópicos relacionados às práticas investigativas e à análise de substâncias, representa uma aplicação concreta dos princípios da Educação CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), cuja proposta visa integrar o ensino de conteúdos científicos

ao contexto social, ético e tecnológico em que estão inseridos os estudantes (SANTOS; MORTIMER, 2000). Essa abordagem não apenas introduz os alunos à linguagem e aos procedimentos científicos, mas também enfatiza o papel da ciência na resolução de problemas reais e coletivos, como os ligados à justiça, à cidadania e à segurança pública. A estrutura conceitual da Educação CTS está organizada em torno de três eixos: os conceitos científicos e tecnológicos, os processos de investigação e as interações entre ciência, tecnologia e sociedade. A aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos contempla aspectos relacionados ao interesse pessoal, à participação cidadã e às perspectivas culturais; os processos de investigação propiciam uma atuação ativa dos estudantes na obtenção e análise de informações; e as interações entre ciência, tecnologia e sociedade favorecem o desenvolvimento de valores e a compreensão crítica de temas locais e globais, como políticas públicas, sustentabilidade e justiça (SANTOS; MORTIMER, 2000). Dessa forma, a química forense, ao ser mobilizada como estratégia didática, promove não apenas a aprendizagem de conteúdos disciplinares, mas também a formação de sujeitos críticos, éticos e socialmente engajados, alinhando-se à função social da educação científica contemporânea.

No entanto, lacunas também foram identificadas. Observou-se uma menor incidência de dissertações que discutem de maneira aprofundada aspectos epistemológicos ou históricos da ciência forense, bem como uma limitada exploração crítica de questões éticas e limitações tecnológicas nos contextos forenses (ILLES; WILSON; BRUCE, 2020). Esses aspectos representam oportunidades importantes para futuras pesquisas, ampliando a abordagem da química forense para além da dimensão técnico-prática da ciência forense e integrando perspectivas filosóficas, históricas e sociais da ciência.

CONCLUSÃO

O presente estudo respondeu à questão de pesquisa proposta ao traçar um panorama das dissertações de mestrado brasileiras que utilizaram a Química Forense como estratégia didática no ensino de Química. Identificou-se que a maioria dos trabalhos analisados utiliza a Química Forense como um contexto

facilitador para aprendizagens ativas e significativas, com ênfase em práticas experimentais, atividades investigativas e estratégias lúdicas.

A integração da Química Forense ao ensino se mostrou alinhada tanto aos princípios da **Aprendizagem Significativa** quanto à abordagem **CTS**, promovendo a contextualização de conceitos científicos e ressaltando a função social da ciência. Assim, o uso da Química Forense no ambiente educacional reforça a importância da ciência na formação cidadã, crítica e responsável dos estudantes.

As lacunas identificadas sugerem a necessidade de ampliar o espectro de abordagens nas futuras pesquisas, incorporando reflexões críticas sobre aspectos epistemológicos, éticos e sociotécnicos da ciência forense. Pesquisas futuras também poderiam explorar a eficácia comparativa entre diferentes estratégias didáticas que utilizam a química forense, analisando impactos concretos na aprendizagem conceitual, na formação ética e na percepção pública da ciência.

Portanto, este estudo contribui para evidenciar a riqueza e o potencial do uso da Química Forense no ensino de ciências e aponta caminhos relevantes para o fortalecimento de práticas pedagógicas inovadoras e socialmente comprometidas.

REFERÊNCIAS

ADAMS, I. T.; MOURTGOS, S. M.; NIX, J. Turnover in large US policing agencies following the George Floyd protests. **Journal of Criminal Justice**, v. 88, p. 102105, 1 set. 2023.

BANKS, G. C. *et al.* A review of best practice recommendations for text analysis in R (and a user-friendly app). **Journal of Business and Psychology**, v. 33, n. 4, p. 445–459, 2018.

BLEI, D. M.; NG, A. Y.; JORDAN, M. I. Latent dirichlet allocation. **J. Mach. Learn. Res.**, v. 3, n. null, p. 993–1022, 1 mar. 2003.

COELHO, L. M.; MARQUES, A. J.; SOUZA, D. G. DE. A Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de História. **Revista Educação Pública**, v. 19, n. 31, 26 nov. 2019.

CUNHA, E. V. DA; SOUSA, W. J. DE. Administração e indígenas no Brasil: conhecimento e interesse na pesquisa *stricto sensu*. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 20, p. 20–34, 11 mar. 2022.

GRIMMER, J.; STEWART, B. M. Text as Data: The Promise and Pitfalls of Automatic Content Analysis Methods for Political Texts. **Political Analysis**, v. 21, n. 3, p. 267–297, 2013.

HUANG, K. H. **Gensim — Topic Modelling in Python**. Medium, 19 ago. 2023. Disponível em: <<https://medium.com/@joloiiuy/gensim-topic-modelling-in-python-1492a3e9a873>>. Acesso em: 29 abr. 2025

ILLES, M.; WILSON, P.; BRUCE, C. Forensic epistemology: A need for research and pedagogy. **Forensic Science International: Synergy**, v. 2, p. 51–59, 1 jan. 2020.

MARCOLIN, C. B. *et al.* Who knows it better? Reassessing human qualitative analysis with text mining. **Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal**, v. 18, n. 2, p. 181–198, 1 jan. 2023.

MARINI, B. P. R.; LOURENÇO, M. C.; BARBA, P. C. DE S. D. Revisão sistemática integrativa da literatura sobre modelos e práticas de intervenção precoce no brasil. **Rev. paul. pediatri**, p. 456–463, 2017.

ROBERTS, M. E. *et al.* Structural Topic Models for Open-Ended Survey Responses. **American Journal of Political Science**, v. 58, n. 4, p. 1064–1082, 2014.

SANTOS, W. L. P. DOS; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência - Tecnologia - Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 2, p. 110–132, dez. 2000.

WESTON, S. J. *et al.* Selecting the Number and Labels of Topics in Topic Modeling: A Tutorial. **Advances in Methods and Practices in Psychological Science**, v. 6, n. 2, p. 25152459231160105, 1 abr. 2023.

YADAV, V. K. *et al.* Forensic Chemistry. Em: SHRIVASTAVA, P. *et al.* (Eds.). **Textbook of Forensic Science**. Singapore: Springer Nature, 2023. p. 661–705.

AÇAÍ (*Euterpe precatoria* Mart): RECURSO ERGOGÊNICO E NUTRICIONAL PARA ATLETAS

Ozanildo Vilaça do Nascimento

Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (UFAM)

Sylvia Correia de Almeida

SES - Manaus/AM

Carlos Masashi Otani

Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (UFAM)

Ivan Ferreira de Jesus

Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (UFAM)

Daurimar Pinheiro Leão

Faculdade de Educação Física e Fisioterapia (UFAM)

RESUMO

O açaí é uma espécie de planta do gênero *Euterpe* pertencente à família *Areaceae* (*Palmae*), presente no bioma brasileiro, excepcionalmente na floresta amazônica. Geralmente, a polpa do açaí tem sido utilizada para o consumo em bebidas energéticas e isotônicas, in natura, sucos, bebidas fermentadas, dadas as suas propriedades químicas, pela presença, vitaminas, minerais, proteínas, lipídios e substâncias fenólicas, principalmente antocianinas do grupo dos flavonoides, sendo ingerida por atletas e pela população em geral. No setor farmacológico e terapêutico, o gênero *Euterpe* spp. tem várias funções biológicas importantes, tais como antioxidante, hipoglicemiante, anti-inflamatória, antimicrobiana, antiproliferativa, imunomoduladora, cardioprotetora, antidiarreica, anticarcinogênica, reduzindo as espécies reativas de oxigênio, a produção de fatores inflamatórios e marcadores de estresse muscular. A presente revisão resume os conhecimentos sobre a composição química, os efeitos e as aplicações como recurso nutricional e ergogênico entre atletas.

Palavras-chave: açaí; atleta; *Euterpe*; suplementação; recurso ergogênico.

INTRODUÇÃO

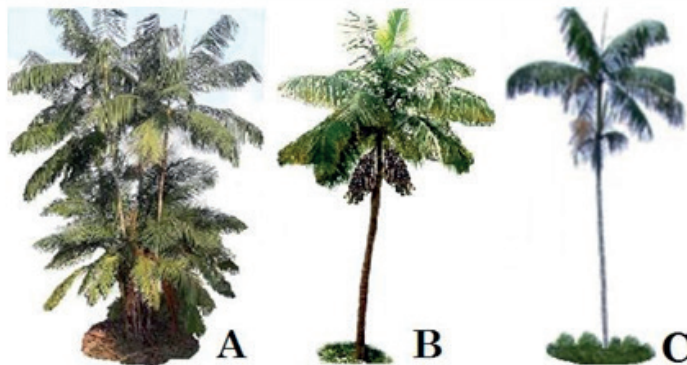
O açaí é uma fruta nativa da palmeira do gênero *Euterpe* (*Euterpeinae*) da família *Arecaceae/Palmaceae* contendo 183 gêneros. Só no Brasil ocorrem 39 gêneros, dos quais cerca de 28 espécies são conhecidas e estão distribuídas em matas de terra firme, várzea e igapó das florestas tropicais, ao longo da América Central e, toda a Bacia Amazônica (Leão *et al.*, 2021).

A etimologia da palavra açaí encontra-se no vocábulo tupi "iwasa'i" que significa "fruto que chora", já a palavra *Euterpe* significa "elegância da floresta", "a Doadora de Prazeres", do grego eu (bom, bem) e τέρπ-εω ('dar'prazer), a espécie *edulis* vem do latim, que significa comestível (Strudwick, 1993; Inbioveritas Project, 2019).

Na Amazônia oriental as palmeiras mais conhecidas e encontradas com mais frequência são as espécies *Euterpe oleracea* Mart (*E. oleracea*) ou "Açaí" e *Euterpe precatoria* Mart (*E. precatoria*) ou "Açaí da mata" (De Siqueira *et al.*, 2021). O gênero *E. precatoria* conhecido vulgarmente como açazeiro, açaí-solitário, açaí do Amazonas, açaí da mata, açaí-nativo, é uma palmeira neotropical, perene, sub-dossel de estipe delgado e único, de cor clara liso e cinza, atingindo em média, 15 m a 35 m de altura e medindo de 10 a 20 cm de diâmetro (Da Silva Melo *et al.*, 2021; Leão *et al.*, 2021).

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a produção agrícola nacional de açaí aumentou para 1.4 milhão de toneladas no ano de 2021, sendo o Pará o estado com o maior número da produção e consumo, cerca de 1.3 milhão de toneladas do total nacional e o Amazonas com produção de pouco mais de 83 mil toneladas (IBGE, 2021). Na figura 1 apresenta aspectos da planta *Euterpe oleracea* Martius (A), da planta *Euterpe edulis* Martius (B) e da planta *Euterpe precatoria* Martius (C).

Figura 1. Aspectos da planta *Euterpe oleracea* Martius (A), aspectos da planta *Euterpe edulis* Martius (B), aspectos da planta *Euterpe precatoria* Martius (C).



Fonte: Leão, D.P.; Ferreira, I.D.J.; Nasimento, O.V.; Cavalcanti, Vinicius. Campelo, P.H. Bioproducts of Açaí (*Euterpe* spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil). *European Academic Research*, 9(1), 777-795.2021.

Do fruto do açaizeiro é retirado a polpa de açaí em formato de suco ou vinho, sendo consumido em todo o território brasileiro, apresentando propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias com a presença de metabólitos bioativos, como as antocianinas, flavonoides e fenólicos (Rodrigues, 2023). Diante disso, as substâncias bioativas presentes nas espécies *Euterpe precatoria* Mart despertaram interesse entre praticantes de atividade física e atletas como matéria-prima em diversas aplicações nutricionais, além disso, o açaí auxilia na modulação do estresse oxidativo induzido pela atividade física, exercício e treinamento (Dias *et al.*, 2014).

Segundo Dos Reis *et al.* (2022) atualmente, devido à grande variedade disponível de suplementos alimentares enriquecendo a dieta de atletas e praticantes de atividade física, com diversos objetivos entre eles: potencializar certos substratos energéticos, hipertrofia muscular, melhora do condicionamento físico, aumento do desempenho, emagrecimento, definição muscular, dentre outros.

Portanto, pela importância de contribuir nesta área da suplementação, diante do panorama apresentando acima, essa revisão tem o objetivo de discutir se o suplemento com Açaí pode ser considerado um recurso ergogênicos que atenuaria o estresse oxidativo, melhorando ou potencializando o rendimento e o desempenho entre os atletas.

DESENVOLVIMENTO

Composição fitoquímica nutricionais e compostos bioativos do Açaí

O açaí tem recebido mais destaque nos últimos anos devido ao seu reconhecimento como um "superalimento", pelo elevado teor de compostos bioativos, micro e macronutrientes, o que coloca esse fruto como alimento nutritivo e funcional por parte de consumidores preocupados com a saúde (Boeira *et al.*, 2020).

De acordo com Ferreira *et al.* (2016) o potencial nutritivo e antioxidante do açaí está relacionado em parte pelas quantidades consideráveis de minerais como cálcio, magnésio, manganês, zinco, cobre, boro e o cromo.

Costa *et al.* (2013) citam a importante que a planta do açaí possui pela gama de componentes nutricionais, essas substâncias estão aplicada na formulação de diversos suplementos alimentares pela indústria alimentícia na forma de cápsulas de gelatina, shakes, chás, sucos, polpas, pós divididos em saquinhos que podem ser consumidos pela população em geral entre eles praticantes de atividades físicas e atletas.

As pesquisas mais recentes vêm demonstrando um novo aproveitamento do açaí, onde o caroço corresponde a 85% de todo o fruto, sendo utilizado para diferentes finalidades, tais como obtenção de café, fitoterápicos, fibras para móveis, xaxim, compensados, dentre outros. (Tinoco, 2005).

Em relação aos fitoquímicos no fruto, no óleo, na polpa e na semente do açaí os seguintes compostos foram identificados: orientina, a isoorientina, o ácido vanílico, ácido gálico, ácido ferúlico, ácido elágico, ácido p-cumárico, ácido clorogênico, epicatequina, catequina, procianidina A2 e B2, lignóides, antocianinas na forma heteroglicosídica, sendo, as mais comuns derivadas da cianidina 3-rutinosídeo, cianidina-3 sambubiosídeo, peonidina-3-rutinosídeo, delfinidina-3-glucosídeos, cianidina 3-glucosídeos, ácido vanílico, ácido siríngico, quercetina, lignanas e oligômeros de procianidina, luteína, α -caroteno, 13-cis- β -caroteno e 9-cis- β -caroteno, pelargonidina-3-glucosídeos, ácido protocatecuico, ácido p-hidroxibenzóico, ácido 3,4-dihidroxibenzóico, ácido p-hidroxibenzóico, ácido cafeico, ácido ferúlico, isolados de lignana, como (+)-isolariciresinol; (+)-5-metoxi-isolariciresinol e 1-(4-hidroxi-3-me-

toxifenil)-2-[4-(3-hidroxipropil)-2metoxifenoxi]-1,3-propanodiol,treo-1-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-2-[4-(3-hidroxipropil),2metoxifenoxi]-1,3-propanodiol; álcool (-)-(7R,8S)-di-hidrodesidroconiferílico; (+)-(7R,8S)-5-metoxi-dihidrodesidroconiferílico álcool; (+)-lariciresinol; (+)-pinoresinol; (+)-siringaresinol; 3-hidroxi-1-(4-hidroxi-3,5-dimetoxifenil)-1propanona;3,4'dihidroxi3'metoxipropiofenona; álcool di-hidroconiferílico; e éster metílico do ácido protocatecuico, ácido 3-O-cafeoilquínico, ácido 4-O-cafeoilquínico e ácido 5-O-cafeoilquínico, ácidos hidroxicinâmicos, como ácido 3-O-cafeoilshiquímico, ácido 4-O-cafeoilshiquímico e ácido 5-O-cafeoilshikimico, apigenina di-C-glicosídeos 6,8-di-C-hexosil apigenina; sulfato de apigenina 6,8-di-C-hexosil; isômeros de apigenina 6-C-hexosil-8-C-pentosil; 6-C-*glucosil* luteolina ou homoorientina; isômeros de apigenina 6-C-pentosil-8-C-hexosil; 8-C-glucosil luteolina; e 6-C-glicosil apigenina (De Souza *et al.*, 2010; Belmonte-Herrera *et al.*, 2022; ALNasser *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2017; Brunschwig *et al.*, 2016; De Oliveira *et al.*, 2015).

O açaí é considerado um "superfruto" e o aumento no consumo nacional e internacional (Amaral *et al.*, 2021) está relacionado as suas propriedades nutricionais, com destaque para o teor de lipídeos (ácidos graxos insaturados), proteínas, fibras e teores de compostos antioxidantes, entre eles as antocianinas e os carotenoides (Matos *et al.*, 2023). Vários estudos têm relacionado os compostos bioativos presentes no açaí ao potencial antioxidante (Lisboa *et al.*, 2022), efeitos anti-inflamatório e anti-proliferativo (Ribeiro *et al.*, 2022) e cardioprotetor (Alencar *et al.*, 2020).

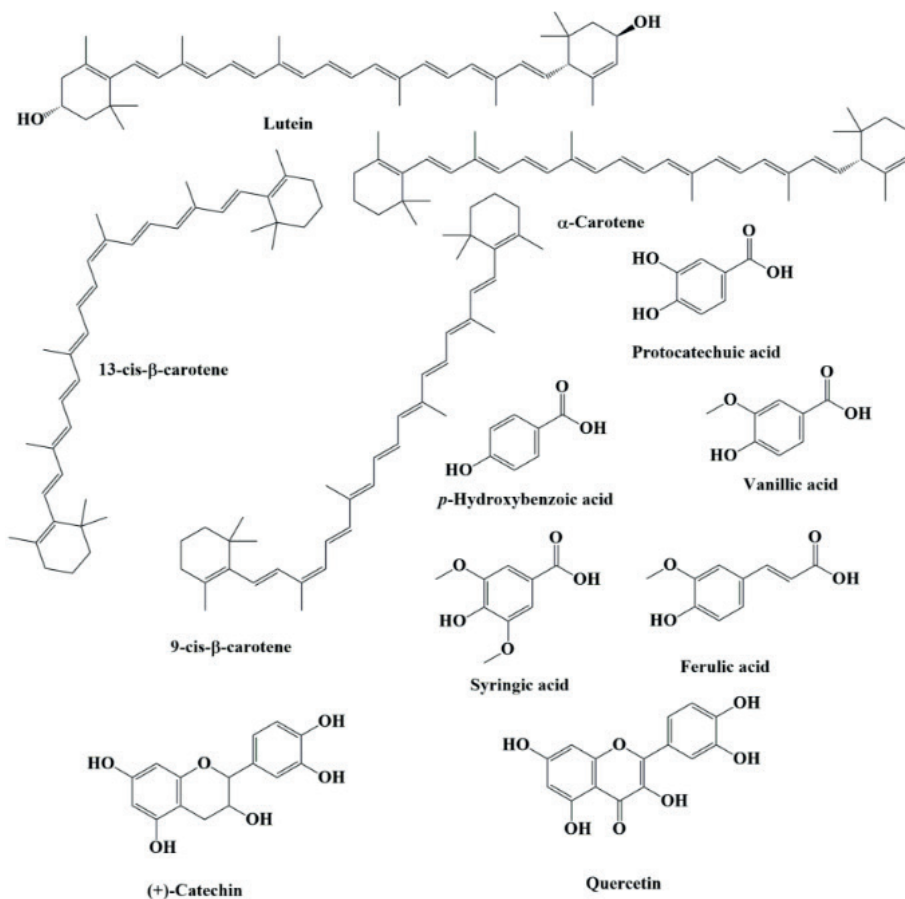
Além de servir como alimento o açaí é muito utilizado na medicina tradicional, da raiz ao talo são utilizados contra dores musculares e picadas de cobra, malária, disfunções renais e hepáticas, da semente pode ser utilizado com antidiarreico (Silva, 2022), o suco pode servir para a prevenção de gripes, febres e dor, da casca da fruta ralada é usada topicamente para as úlceras da pele e as sementes da fruta são esmagadas e preparadas como um extrato líquido por maceração e imersão para febres (Gruca *et al.*, 2015).

A seiva de raiz de *Euterpe oleracea* é usada como sal e o palmito é considerado um bom cicatrizante, ainda pode ser utilizado contra acne, envelhecimento, abuso de álcool, anemia, aterosclerose, depurador do sangue, câncer, diarreia, digestivo, energético, febre, alimento funcional, queda de cabelo, hemorragia, hipercolesterolemia, hipertensão, imunomodulador, icterícia, problemas renais,

doença hepática, malária, dor menstrual, dor (muscular e articular), disfunção sexual, cuidados com a pele, proteção solar, perda de peso e prevenção de rugas.

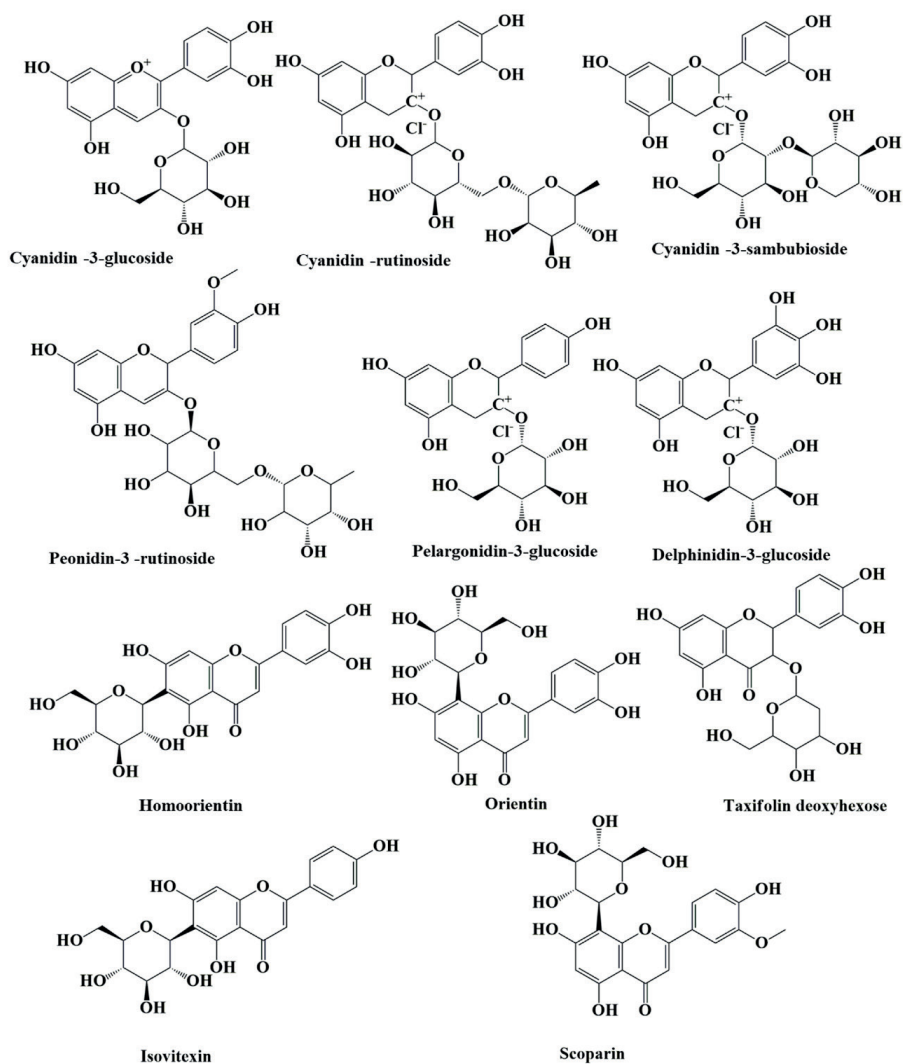
Algumas composições químicas e princípios ativos e fitoquímicos estão apresentados nas figuras 2, figura 3, figura 4 e figura 5.

Figura 2. Principais compostos fitoquímicos presentes no fruto e no óleo do açai.



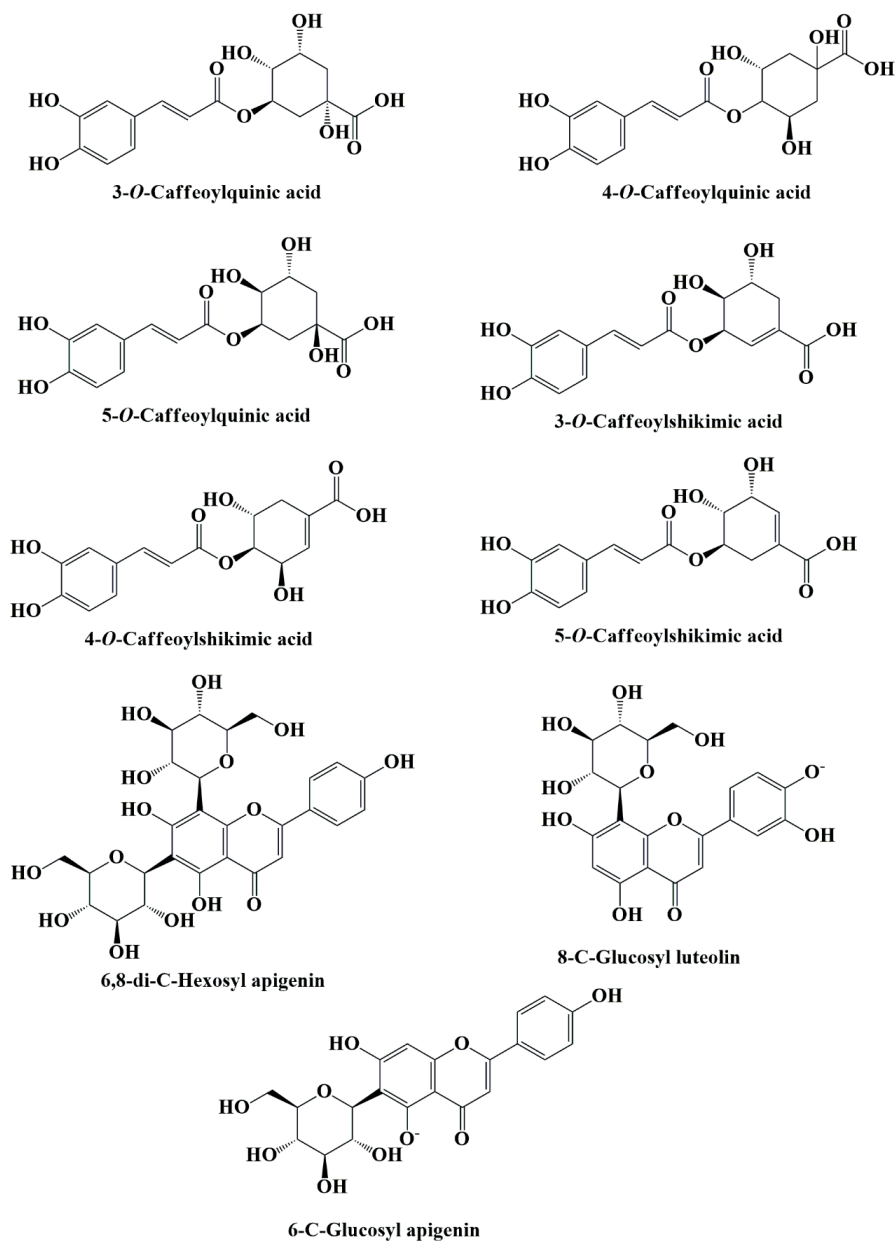
Fonte: Laurindo, L.F. et al. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. *Nutrients*, 15(4), 989.2023.

Figura 3. Principais compostos fitoquímicos presentes nas sementes e na polpa do fruto do açaí.



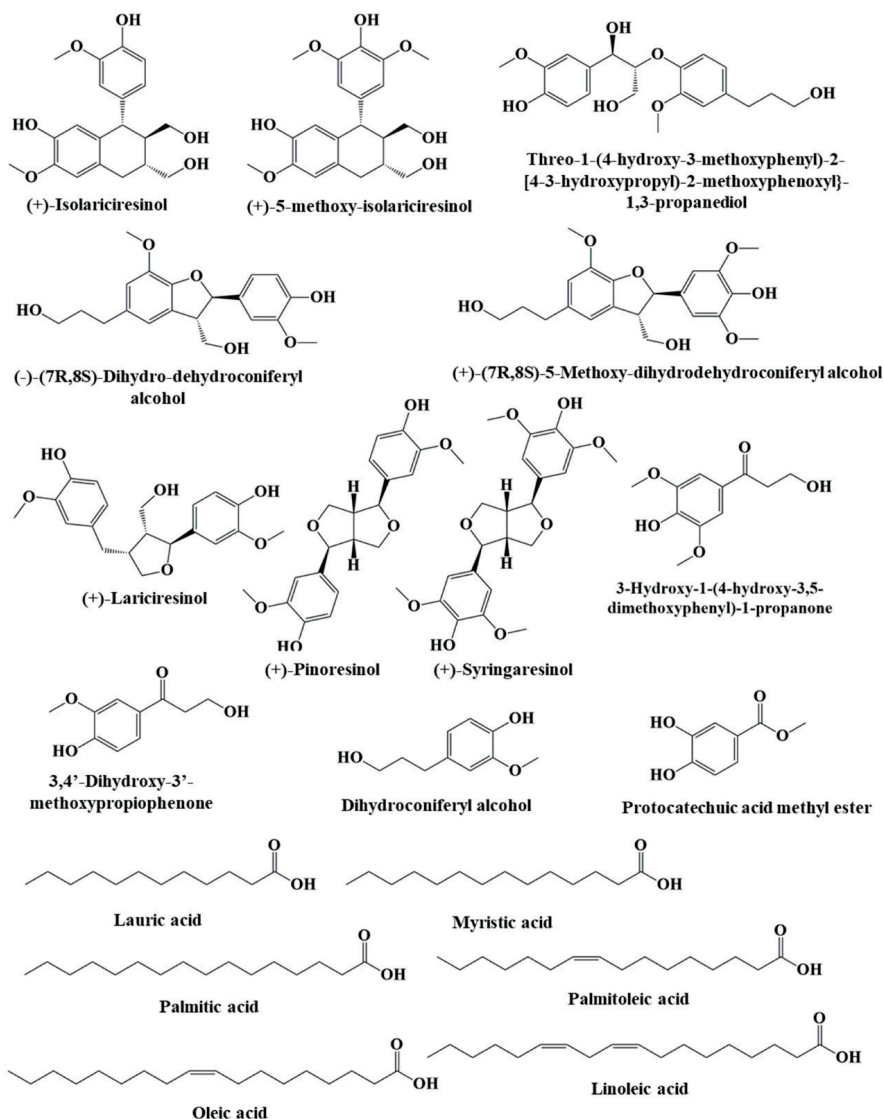
Fonte: Laurindo, L.F. et al. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. *Nutrients*, 15(4), 989.2023.

Figura 4. Principais compostos fitoquímicos presentes nas folhas e raízes do açaí.



Fonte: Laurindo, L.F. et al. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. *Nutrients*, 15(4), 989.2023.

Figura 5. Principais lignanas e ácidos graxos presentes nas sementes e na polpa do açaí.



Fonte: Laurindo, L.F. et al. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. *Nutrients*, 15(4), 989.2023.

Açaí e atletas

A prática regular do exercício leva uma série de benefícios para a saúde, no entanto, quando realizado durante um longo período de tempo ou de forma

intensa, essa pratica pode gerar uma acumulação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e de óxido nítrico (NO), levando a efeitos deletérios (Rueggsegger; Booth, 2018).

O exercício e o treinamento físico pode aumentar a atividade de enzimas capazes de neutralizar os ROS, mesmo assim, muitos nutricionistas têm recomendado o uso de suplementação com antioxidantes para melhorar a saúde e a recuperação após o exercício que pode levar ao equilíbrio do excesso oxidativo (Pastor *et al.*, 2019).

Bezerra *et al.* (2016) citam que 12% da produção de açaí no mundo é canalizada para a fabricação de bebidas energéticas e esportivas, levando a uma fusão positiva entre a ingestão do fruto e a realização do exercício físico, levando a uma maior exploração do fruto pelo mercado de alimento e as mídias.

A polpa, sementes e óleos de açaí é rica em cianidina 3-O-rutinosídeo e cianidina 3-O-glicosídeo, antocianinas, flavonas e derivados de flavonol com efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios com propriedades funcionais que podem atuar como suporte nutricional para atletas que realizam exercícios com características oxidativas (Dos Reis *et al.*, 2022; Schauss, 2016).

Neste sentido, Peixoto *et al.* (2014) administraram um gel de açaí liofilizado misturado com açúcares (goma xantana, maltodextrina, frutose, sacarose e glicose) e ácido cítrico para prevenção dos efeitos originados pelo estresse oxidativo e fadiga muscular em atletas de alto rendimento. Os autores concluíram que o produto administrado pode ser uma estratégia terapêutica e profilática para o processo na prevenção dos efeitos causados pelo estresse oxidativo e fadiga muscular.

Para comprovar estes resultados, Sadowska-Krępa *et al.* (2015) testaram o consumo diária de 100 mL da polpa de açaí durante seis semanas em sete atletas de sprint com objetivo de verificar se existe uma melhora no estado redox destes atletas. Ao final do experimento houve um aumento da capacidade antioxidante total no plasma dos atletas que consumiram a polpa. Os autores concluíram que aumento no estado redox entre os atletas estavam relacionados com a doação de hidroxilas e metilatos dos flavonoides presentes na polpa do açaí que foram capaz de neutralizar os radicais livres.

Carvalho-Peixoto *et al.* (2015) analisaram os marcadores de estresse muscular e oxidativo, respostas cardiorrespiratórias, esforço percebido e tempo

até a exaustão durante corrida máxima em esteira em 14 atletas após suplementação de um produto com 300 mL, que continha açaí liofilizado (4%), 27,6 mg de antocianinas totais, glutamina (2,5%) e carboidratos (20%) como ingredientes predominantes. Os atletas foram instruídos a consumir o açaí por 3 dias consecutivos (suplementação aguda) e 1 h antes do exercício até a exaustão. Os 14 atletas realizaram um teste até a exaustão de corrida na esteira com inclinação a 90% VO_{2max} com e sem suplementação. O grupo suplementado aumentou o tempo total de execução do exercício até a exaustão ($p < 0,05$), além de um aumento de 23% nas respostas cardiorrespiratórias.

O consumo de frutos, bebidas, pós e extratos ricos em antocianinas tem recebido notável atenção pela sua influência no exercício, reduzindo o estresse oxidativo, fadiga e melhorando o desempenho. Desta forma, Copetti, (2023) teve como objetivos revisar os efeitos das antocianinas do fruto do açaí nas respostas sobre biomarcadores de estresse oxidativo, fadiga e desempenho em ciclistas treinados. As antocianinas foram oferecidas na forma de suco, polpa, pó liofilizado e extrato.

O tempo de suplementação variou de consumo agudo a 20 dias e a quantidade de antocianinas administrada nos estudos variou de 18 a 552 mg/dia. Os resultados dos estudos abordaram os efeitos no estresse oxidativo, inflamação, dano muscular, fadiga, biomarcadores de óxido nítrico, função vascular, oxigenação muscular, desempenho e oxidação de substratos.

O potencial efeito ergogênico da suplementação de antocianinas nas respostas induzidas pelo ciclismo parece estar relacionado a um menor estresse oxidativo, inflamação, dano muscular, fadiga e aumento da produção de óxido nítrico, com melhorias subsequentes na função vascular e oxigenação muscular, levando a um melhor desempenho, essa foi a conclusão do estudo.

A redução do estresse oxidativo e da inflamação também foi estudado em animais no experimento de Alegre *et al.* (2019), ratos Wistar foram divididos em 2 grupos: Controle (C: recebendo ração padrão; $n = 9$) e Açaí (A: recebendo ração padrão suplementada com 5% de açaí; $n = 10$). Após seis semanas, os animais foram submetidos ao protocolo global de isquemia-reperfusão e a um estudo do coração isolado para avaliar a função ventricular esquerda. Os resultados indicam que houve melhora no metabolismo energético e diminuição do

estresse oxidativo, porém não houve diminuição da área infartada e nem melhora da função ventricular esquerda no modelo de reperfusão de isquemia global.

O exercício excêntrico resulta frequentemente na produção do estresse oxidativo desencadeando uma resposta inflamatória, o que conduz a dor muscular tardia (DOMS), que está relacionada a uma redução do desempenho muscular. As intervenções dietéticas podem reduzir a inflamação e melhorar o desempenho físico. Estudos indicam que a suplementação com açaí minimiza a dor muscular e repara a função muscular (Copetti, 2023; Dos Reis *et al.*, 2022; Schauss, 2016).

Neste contexto, Fantini, (2017) avaliou o efeito da suplementação de açaí na dor muscular após uma sessão de treinamento de força. Um total de vinte atletas foram divididos em dois grupos iguais, todos com experiência em treino de força. O grupo experimental ingeriu uma cápsula de 1000 mg de extrato de açaí 48 horas antes do exercício, enquanto o grupo de controle ingeriu uma cápsula de gelatina placebo vinte minutos antes do jantar no primeiro dia e, no segundo dia, vinte minutos antes do pequeno-almoço.

Os resultados indicam que o grupo que tomou o suplemento referiu menos dores musculares no quadríceps ($p = 0,011$) em comparação com o grupo placebo. A suplementação com polifenóis e flavonoides é capaz de inibir as enzimas NADPH oxidase e a ciclo-oxigenase geradas pelos neutrófilos, reduzindo assim o stress oxidativo e a inflamação (Biswas, 2016).

De Castro *et al.* (2014) investigaram os efeitos do consumo da polpa de açaí com ou sem exercício físico, sobre o estresse oxidativo e inflamação em camundongos com deficiência de ApoE (ApoE -/-). Os animais foram divididos em quatro grupos: C (controle - dieta AIN-93M); CA (controle - dieta AIN 93M acrescida de 2% de polpa de açaí liofilizada); EXA (exercício - dieta AIN-93M acrescida de 2% de polpa de açaí liofilizada) e EX (exercício - dieta AIN-93M). Os grupos EX e EXA correram 5 dias/semana, 60 minutos/dia durante 12 semanas.

Os animais que se exercitaram reduziram a atividade da superóxido dismutase hepática (40,85%; $p < 0,05$) quando comparados aos ratos do grupo C, independentemente da dieta de açaí. Os ratos EXA e EX apresentaram menores percentuais de lipídios nas células hepáticas (70% e 56%, respetivamente; $p < 0$

- 05) quando comparados aos ratos C. Os ratos EX tinham uma área menor (58%; $p < 0,05$) de lesões na aorta quando comparados com os ratos C.

Os estudos de Souza (2018) e Freitas (2018) também acompanharam os efeitos da suplementação com polpa pasteurizada de açaí sobre marcadores bioquímicos de estresse oxidativo, inflamação e capacidade aeróbica em atletas de ciclismo de resistência. Os resultados mostraram que houve um aumento da capacidade antioxidante do soro e uma redução da peroxidação lipídica.

Os autores concluíram que a suplementação de polpa de açaí pasteurizada contribuiu para minimizar a peroxidação lipídica, melhorou a capacidade aeróbica, previne danos oxidativos ao DNA, apoiando a hipótese de que a suplementação com polpa de açaí pode favorecer respostas adaptativas ao treinamento em atletas de resistência.

Cruz *et al.* (2019) avaliaram o efeito do consumo crônico de açaí sobre o dano muscular de corredores de rua. Quatorze corredores homens foram randomicamente divididos em grupos açaí (200g diários) ou controle, durante 25 dias. Foram avaliados, no período pré (M1) e pós-intervenção (M2), marcador de dano muscular (CK) em repouso, imediatamente e 24h após corrida, percepção subjetiva do esforço (PSE) e antropometria.

Houve elevações significativas de CK após o exercício (0h e 24h) em ambos os grupos, sem haver diferença entre eles, após a intervenção, observou-se redução significativa da CK 24h no grupo que recebeu açaí, em relação ao M1, demonstrando que o consumo crônico de açaí preveniu danos musculares.

Não houve diferenças significativa acerca dos dados antropométricos e a PSE entre ambos os momentos e grupos. Conclui-se que suplementação de açaí reduziu significativamente a CK de corredores de rua em prova de 10km, porém, sem alterar a PSE e a composição corporal.

Reis *et al.* (2023) avaliaram os efeitos da suplementação de açaí (SA) sobre marcadores de danos musculares. Doze homens participaram do estudo de 21 dias.

Todos realizaram o protocolo de dano (PD) em dois momentos, separados por 7 dias. O PD consistiu em 10 séries do protocolo de salto contramovimento (CMJs, com uma recuperação de 1 min entre as séries. A SA foi realizada por 7 dias com 40 g/dia de açaí desidratado (GA) ou placebo (GP). Os parâmetros sanguíneos (CK, LDH e capacidade antioxidante equivalente a Trolox – TEAC) foram avaliados em 0h e 24h. Imagens ultrassonográficas (VL, RF e GM), DOMS

em membros inferiores e pico de torque isométrico (PTI) de extensores e flexores do joelho foram avaliados em 0h, 24h, 48h e 72h após PD.

Observou-se interação tempo-tratamento para o TEAC ($p = 0,01$), no qual o GA apresentou aumentos de 11% após 24h. Da mesma forma, a interação tempo-tratamento foi observada para os flexores do joelho PTI ($p = 0,02$), onde o GA apresentou recuperação superior após 24h ($GA = 108 \pm 23$ vs. $GP = 92 \pm 24$ N·m) e 72 h ($GA = 113 \pm 31$ vs. $GP = 98 \pm 26$ N·m). Não foi observada significância no índice de fadiga para extensores do joelho ($p = 0,75$) e flexores ($p = 0,89$), indicando fadiga semelhante em ambas as situações. A conclusão da pesquisa foi que a SA aumentou o TEAC e promoveu uma recuperação mais rápida do PTI dos flexores do joelho quando comparado ao GP.

Terrazas *et al.* (2020) realizaram um estudo cruzado, randomizado, controlado por placebo, simples-cego com dez ciclistas do sexo masculino. Os atletas consumiram 400 g/dia de polpa de açaí pasteurizada (AP) ou placebo (PL) por 15 dias, com um período de wash-out de 30 dias entre as tentativas.

Foram avaliadas a peroxidação lipídica, capacidade antioxidante sérica, dano ao DNA no sangue periférico (ensaio cometa), IL-6 e TNF-alfa, concentração de lactato sanguíneo durante o esforço, intensidade do limiar anaeróbico (ILA), carga de trabalho máxima atingida (WMax), a classificação do limiar de percepção subjetiva de esforço (CLPSE) e o limiar de frequência cardíaca (LFC) foram avaliados antes e após cada intervenção.

Os dados resultados indicaram um aumento da capacidade antioxidante sérica ($p = 0,006$) e diminuição da peroxidação lipídica ($p = 0,01$) foram observados em indivíduos após a intervenção com AP. Os níveis de lactato sanguíneo durante o esforço diminuíram significativamente (29%, $p = 0,025$) e o ILA aumentou ($p = 0,006$) após a suplementação com AP.

Nenhum efeito significativo sobre o dano ao DNA foi atribuído ao consumo de AP. Os autores encontraram efeitos significativos na intervenção da suplementação com o AP no status antioxidante, na redução da concentração de lactato sanguíneo, aumento da ILA durante o esforço sugerindo uma melhora geral na capacidade aeróbia dos ciclistas, confirmando que o consumo de AP pode influenciar variáveis associadas ao desempenho em atletas de endurance.

Fantini *et al.* (2019) estudaram vinte atletas universitários divididos em grupo açaí ($n = 10$) e o grupo placebo ($n = 10$). A suplementação começou 48

horas antes de uma sessão de corrida em declive (CD). A amplitude de movimento, a percepção da dor muscular, a agilidade e o salto vertical foram avaliados no início do estudo, imediatamente após a CD, 24 e 48 horas.

Os resultados indicam que o grupo açaí ($n = 10$) relatou significativamente menos dor muscular no músculo quadríceps ($p = 0,011$) em comparação com o grupo placebo ($n = 10$). Além disso, o grupo açaí mostrou melhorias na amplitude de movimento, agilidade e deslocamento do salto vertical em comparação com o grupo placebo durante todos os 4 períodos.

Os autores concluíram que o açaí parece ser um suplemento eficaz para diminuir a dor muscular do quadríceps após a corrida em declive, essa diminuição da dor pode contribuir para ganhos de desempenho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Várias evidências têm demonstrado que os componentes nutricionais existentes no fruto do açaí passaram a ser manipulados pelas indústrias na forma de alimento, suplemento, de bebidas energéticas e esportivas, levando a uma fusão positiva entre a ingestão do fruto e a realização do exercício físico e do treinamento. Partimos do pressuposto que o fruto do açaí é rico em nutrientes e em princípios ativos que podem desempenhar um papel benéfico na prevenção ou controle dos danos oxidativos, da fadiga muscular, do esforço percebido, da resposta inflamatória, da dor muscular tardia, desta forma, pode ser um auxílio ergogênico útil e prático para melhorar o desempenho atlético.

Futuras pesquisas devem ser encorajadas, pois ajudarão os profissionais a decidirem como incluir a suplementação de açaí antes, durante ou após os programas de exercícios sem apresentar contraindicações para o uso com moderação e com monitoramento adequado.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, P. *et al.* Euterpe Oleracea Mart.(Açaí) Reduz o estresse oxidativo e melhora o metabolismo energético da lesão de isquemia-reperusão miocárdica em ratos. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, 114(1), 78-86.2020.

ALENCAR, A. K. N. D. Efeitos Antioxidantes do Euterpe Oleracea Mart.(Açaí) na Lesão de Isquemia-Reperusão do Miocárdio em Ratos: Essa seria uma Boa Abordagem a ser Seguida?. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, 114, 87-89.2020.

ALNASSER, M. N.; MELLOR, I. R.; CARTER, W. G. A preliminary assessment of the nutraceutical potential of acai berry (*Euterpe* sp.) as a potential natural treatment for Alzheimer's disease. **Molecules**, 27(15), 4891.2022.

ALNASSER, M.N.; MELLOR, I.R.; CARTER, W.G. A Preliminary Assessment of the Nutraceutical Potential of Acai Berry (*Euterpe* sp.) as a Potential Natural Treatment for Alzheimer's Disease. **Molecules**, 27, 4891.2022.

AMARAL, G.O.; DA ROCHA, S.A.S.; PEREIRA, A.L.F.; CARVALHO, E.A. Elaboração de Mix de Açaí (*Euterpe oleracea*) Adicionado de Líquor de Cacau (*Theobroma cacao*). **Brazilian Journal of Development**, 7(8), 82160-82180.2021

BELMONTE-HERRERA, B.H. *et al.* Lesser-Consumed Tropical Fruits and Their by-Products: Phytochemical Content and Their Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential. **Nutrients**. 14, 3663.2022.

BEZERRA, V.S.; FREITAS-SILVA, O.; DAMASCENO, L.F. Açaí: produção de frutos, mercado e consumo. Proceedings of the II Jornada Científica da Embrapa Meio-Norte; Sep14-15. Teresina: Embrapa; 2016.

BOEIRA, L.S.*et al.* Chemical and sensorial characterization of a novel alcoholic beverage produced with native acai (*Euterpe precatoria*) from different regions of the Amazonas state. **LWT**, 117, 108632.2020.

BRUNSCHWIG, C. *et al.* Chemical Composition and Antioxidant Activity of *Euterpe oleracea* Roots and Leaflets. **Int. J. Mol. Sci.** 18, 61. 2016.

CARVALHO, A.V. *et al.* Chemical composition and antioxidant capacity of açai (*Euterpe oleracea*) genotypes and commercial pulps. **J. Sci. Food Agric.** 97, 1467-1474.2017

CARVALHO-PEIXOTO, J. *et al.* Consumption of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) functional beverage reduces muscle stress and improves effort tolerance in elite athletes: a randomized controlled intervention study. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, 40(7), 725-733.2015.

COPETTI, C.L.K. Efeito do consumo do fruto juçara (*Euterpe edulis* Martius) sobre biomarcadores de estresse oxidativo, fadiga e desempenho em ciclistas treinados: um ensaio clínico randomizado, placebo-controlado, cruzado e triplo cego. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Florianópolis, 2023.

COSTA, A.G.V.; GARCIA-DIAZ, D.F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. **Journal of functional foods**, 5(2), 539-549.2013.

CRUZ, I.A. *et al.* Effects of chronic supplementation of açai on the muscle damage in track runners. **J Phys Educ.** 30(1):3012.2019.

DA SILVA MELO, G.; COSTA, F.S.; DA SILVA, L.C.O cenário da produção do Açaí (*Euterpe* spp.) no estado do Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, 7(7), 71536-71549.2021

DE ANDRADE SOARES, R. *et al.* Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seed extract improves aerobic exercise performance in rats. **International Food Research**, 136, 109549.2020.

DE CASTRO, C. A. *et al.* Aerobic exercise and not a diet supplemented with jussara açai (*Euterpe edulis* Martius) alters hepatic oxidative and inflammatory biomarkers in ApoE-deficient mice. **British Journal of Nutrition**, 112(3), 285-294.2014.

DE OLIVEIRA, P.R. *et al.* *Euterpe oleracea* Mart.-Derived Polyphenols Protect Mice from Diet-Induced Obesity and Fatty Liver by Regulating Hepatic Lipogenesis and Cholesterol Excretion. **PLoS ONE**, 10, e0143721.2015.

DE SIQUEIRA, J. A. S. *et al.* Caracterização Agroecológica de Sistemas Tradicionais de Produção do Açaí (*Euterpe* spp.) em Carauari, no Médio Rio Juruá, Estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 16(2), 13-13.2021.

DE SOUZA, M.O. *et al.* Diet supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp improves biomarkers of oxidative stress and the serum lipid profile in rats. **Nutrition** 26, 804–810. 2010.

DOS REIS, T.M.P. *et al.* Effect of açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) supplementation associated with exercise in animals and humans: a scoping review. **Revista de Nutrição**, 35, e210266.2022.

DOS REIS, T.M.P. *et al.* Effects of acai supplementation (*Euterpe precatoria* Mart) on muscle recovery markers after jump protocol. **Research in Sports Medicine**, 32(4), 580-596.2024.

FANTINI, A. P. The effects of acai (*euterpe oleracea* mart) on delayed muscle soreness (doms) in collegiate male athletes and non-athletes (Doctoral dissertation, Kent State University). (Doctoral dissertation, Kent State University).2017

FANTINI, A.P.; GLICKMAN, E.; RIDGEL, A.L. The effects of açaí (*Euterpe oleracea* Mart) on late onset muscle soreness in male college athletes and non-athletes. **Journal of Exercise and Nutrition**, 2(1).2019.

Ferreira, D.S. *et al.* Antioxidant capacity and chemical characterization of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) fruit fractions. **Food Science and Technology**, 4 (5) (2016), pp. 95-102, 2016.

FREITAS, E.C.D. [UNESP]. Suplementação de Açaí em ciclistas: Efeitos Sobre marcadores inflamatórios, oxidativos e capacidade aeróbica. 2018.

GRUCA, M.; BLACH-OVERGAARD, A.; BALSLEV, H. African palm ethno medicine. **J. Ethnopharmacol.** 2015, 165, 227–237.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Produção de Açaí (cultivo) 2021. Disponível em: , Acesso em: 11 nov. 2024.

INBIOVERITAS PROJECT. *Euterpe edulis* Martius. Disponível em: <http://www.inbioveritas.net/index.php?Auswahl=http://www.palmito-info.net,>>. Acesso em novembro de 2024.

LEÃO, D.P. *et al.* Bioproducts of Açaí (*Euterpe* spp): a review study on the composition and applications (Amazon, Brazil). **European Academic Research**, 9(1), 777-795.2021.

LISBOA, C.R.; DE OLIVEIRA, M.D.S.P.; CHISTÉ, R.C.; CARVALHO, A.V. Compostos bioativos e potencial antioxidante de diferentes acessos de *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatoria* do banco ativo de germoplasma de açaí. **Research, Society and Development**, 11(12), e428111234824-e428111234824.2022.

MATOS, M.V.C.; COSTA, C.M.; REBELO, K.S.; DE LIMA YAMAGUCHI, K.K. Análise da composição centesimal dos açaís amazônicos: *Euterpe precatoria* Mart. e *Euterpe oleracea* Mart. **Revista Ifes Ciência**, 9(1), 01-07.2023.

MELO, P. S. *et al.* Açaí seeds: An unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. **Industrial crops and products**, 161, 113204.2021

OLIVEIRA, R.J.; DO NASCIMENTO, L.A.S. Biological activities from açaí (*Euterpe* spp. Mart.) seeds and their pharmacological aspects: a systematic review and meta-analysis. **PharmaNutrition**, 100405.2024.

PASTOR, R.; TUR, J.A. Antioxidant supplementation and adaptive response to training: a systematic review. **Curr Pharm Des.** 25(16):1889-912.2019.

PEIXOTO, J.C. Desenvolvimento de bebida funcional à base de açaí liofilizado para o controle do estresse muscular e oxidativo e atenuação de indicadores cardiorrespiratórios e de percepção de esforço em atletas (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Rio de Janeiro).2014.

REMIGANTE, A.; SPINELLI, S.; MARINO, A.; MORABITO, R. Biological Effects of *Euterpe oleracea* Extract (Açaí). In **Plant Specialized Metabolites: Phytochemistry, Ecology and Biotechnology** (pp. 1-15). Cham: Springer Nature Switzerland.2023.

RIBEIRO, A.B.; SQUARISI, I.S.; TAVARES, D.C. Plantas medicinais brasileiras com atividade anticâncer. In **Fitoquímica: potencialidades biológicas dos biomas brasileiros** (Vol. 1, pp. 116-134). Editora Científica Digital.2022.

RIBEIRO, M *et al.* Efeito neuroprotetor da associação de extrato de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e ácido valproico em neurônios com disfunção mitocondrial. **Disciplinarum Scientia| Saúde**, 23(1), 11-24.2022.

RODRIGUES, C.N. Caracterização química das polpas das espécies de açaí (*Euterpe* spp). 2023. 112 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Coari (AM), 2023.

RUEGSEGGER, G.N.; BOOTH, F.W. Health benefits of exercise. **Cold Spring Harbor perspectives in medicine**, 8(7), a029694. 2018.

SADOWSKA-KRĘPA, E. *et al.* Effects of supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry-based juice blend on the blood antioxidant defence capacity and lipid profile in junior hurdlers. A pilot study. **Biology of sport**, 32(2), 161.2015.

SCHAUSS, A. G. Advances in the study of the health benefits and mechanisms of action of the pulp and seed of the Amazonian palm fruit, *Euterpe oleracea* Mart., known as "Açaí". In Fruits, Vegetables, and Herbs (pp. 179-220). Academic Press.2016.

SILVA, M.A.C.N. Análise da atividade antitumoral do extrato hidroacoólico e óleo da semente de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em modelos in vitro e in vivo de câncer . 2022. 1 recurso online (167 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas, Campinas, 2022.

SOUZA, S.I.B.M.T. Suplementação de açaí em ciclistas: efeitos sobre marcadores inflamatórios, oxidativos e capacidade aeróbia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Farmacêuticas Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição. Área de concentração: Ciências Nutricionais.2018.

STRUDWICK, J. **Contributions to the genus *Euterpe* Mart.** City University of New York.1993.

TERRAZAS, S.I.B.M. *et al.* Acai pulp supplementation as a nutritional strategy to prevent oxidative damage, improve oxidative status and modulate blood lactate in male cyclists. **European Journal of Nutrition**, 59, 2985-2995.2020.

VIANA, D.S *et al.* Biochemical assessment of oxidative stress by the use of açaí (*Euterpe oleracea* Martius) gel in physically active individuals. **Food Science and Technology**, LAURINDO, L. F. *et al.* Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: A critical review. **Nutrients**, 15(4), 989.2023.

ANTIOXIDANT AND ANTICANCER ACTIVITY IN VITRO OF *Chenopodium ambrosioides* L. ESSENTIAL OIL

Gustavo Oliveira Everton

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Ana Paula Muniz Serejo

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Mariana Oliveira Arruda

Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU)

Maria Cristiane Aranha Brito Mattos

Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU)

Paulo Roberto Barros Gomes

Instituto Federal do Pará (IFPA)

Silvio Carvalho Marinho

Centro Universitário Santa Teresinha (CEST-MA)

Djavânia Azevedo Luz

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Maria da Glória Almeida Bandeira

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Arthur Rocha Dantas

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Victor Elias Mouchrek Filho

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the in vitro antioxidant and anticancer activities of the essential oil (EO) from *Chenopodium ambrosioides*. **Methods:** Leaves of *C. ambrosioides* were collected in Maranhão, Brazil, and subjected to hydrodistillation using a Clevenger apparatus for EO extraction. Antioxidant activity was assessed using the ABTS, DPPH, and FRAP assays, while anticancer activity was tested on cancer cell lines from the colon, lung, liver, prostate, and others, utilizing the SRB assay to determine the inhibitory concentration (IC_{50}). The chemical composition was analyzed through gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), identifying the main bioactive compounds. **Results:** The EO exhibited potent antioxidant activity, particularly notable in the ABTS assay ($IC_{50} = 3.43$ mg/L). In terms of anticancer evaluation, it demonstrated significant cytotoxicity, especially against colon cells (502713; $IC_{50} = 13.18$ mg/L), liver cells (HepG2; $IC_{50} = 14.07$ mg/L), and neuroblastoma cells (IMR-32; $IC_{50} = 13.95$ mg/L). The chemical analysis revealed a predominance of α -terpinene (56.33%), ascaridole (11.25%), and p-cymene (10.21%), compounds associated with antitumor effects. Variability in the EO composition across geographic regions was noted, indicating the presence of multiple chemotypes. **Conclusion:** The EO of *C. ambrosioides* appears promising as a natural antioxidant and anti-cancer agent, with proven in vitro efficacy. Its effects are likely related to the high concentration of bioactive monoterpenes. However, further in vivo and clinical studies are necessary to validate its safety and therapeutic efficacy. The results underscore the pharmacological potential of medicinal plants and highlight the need for standardization in the extraction and application of these compounds.

keywords: essential oil; cytotoxicity; cell; tumor.

INTRODUCTION

Within the family Chenopodiaceae, the genus *Chenopodium* is recognized as one of the largest, encompassing approximately 1,400 species. This genus includes both wild and cultivated species distributed across Europe, Africa, Asia, Australia, and North America (KASALI & AGABA, 2021). The aerial parts of these plants are frequently utilized in powders and decoctions to treat colds, abdominal pain, leishmaniasis, and possess anti-inflammatory, antiasthmatic, antipyretic, antispasmodic, hypotensive, and carminative properties (YADAV *et al.*, 2007; KOKANOVA-NEDIALKOVA *et al.*, 2011; TRIVELLATO GRASSI *et al.*, 2013).

Most species within this genus owe their beneficial properties to the presence of secondary metabolites, particularly essential oils (EOs) rich in terpenoids, which have demonstrated antimicrobial, antioxidant, and insecticidal activities (JARDIM *et al.*, 2008; KOKANOVA-NEDIALKOVA *et al.*, 2009; OZER *et al.*, 2017). Among these species, *Chenopodium ambrosioides* stand out. This annual plant, characterized by its strong aromatic odor, reaches heights of 0.3 to 1 meter and thrives in uncultivated fields and abandoned areas (Fennane *et al.*, 2007). *C. ambrosioides* is widely used in folk medicine, particularly as an infusion to treat gastrointestinal disorders, typhoid fever, dysentery in children, and fever (BELLAKHDAR, 1997).

Pharmacological studies support its cytostatic, hypotensive, anti-inflammatory, and antipyretic activities (BELLAKHDAR, 1997; Hallal *et al.*, 2010). Additionally, the EOs of this plant exhibit antimicrobial, antioxidant, and acaricidal activities (AIT SIDI BRAHIMA *et al.*, 2015; EZ-ZRIOULI *et al.*, 2023; SANTIAGO *et al.*, 2016; AGLAGANE *et al.*, 2022), attributed to monoterpenes such as α -terpinene, ascaridol, carvacrol, p-cymene, and o-cymene (AIT SIDI BRAHIMA *et al.*, 2015; EZ-ZRIOULI *et al.*, 2023; SANTIAGO *et al.*, 2016; AGLAGANE *et al.*, 2022).

The yield and chemical composition of EOs from medicinal and aromatic plants, along with their biological activities, are influenced by factors such as the part of the plant used for distillation (VERMA *et al.*, 2019; SHAHWAR *et al.*, 2012; YUE *et al.*, 2017).

Certain EOs have been labeled as promising anticancer agents and are currently being investigated for their cytotoxic and antiproliferative activities in cancer cell lines or animal models (EDRIS, 2007). Various mechanisms have been

reported for the cytotoxic effects of EOs or their constituents. These mechanisms include the induction of cell death through apoptosis and/or necrosis, antitumorigenic properties, antiproliferative effects, antioxidant activity, cell cycle arrest, and loss of essential organelle functions (GAUTAM; MANTHA; MITTAL, 2014). According to research findings, EOs demonstrate anticancer potential against cancers of the mouth, breast, lung, prostate, liver, colon, and brain, as well as in leukemia (BLOWMAN *et al.*, 2018). Studies indicate that specific components of EOs enhance the cytotoxic activity of chemotherapeutic agents (such as docetaxel, paclitaxel, and 5-fluorouracil) across different cell lines, thus creating the possibility to reduce their dosage while maintaining the same therapeutic effect (BLOWMAN *et al.*, 2018). Thus, this study aimed to evaluate the antioxidant and anticancer activity in vitro of the EO from *C. ambrosioides*.

METHODOLOGY

Obtaining plant material

The leaves of *Chenopodium ambrosioides* L. utilized in this study were collected between July 2024 in Maranhao, Brazil. The species were identified by the Herbarium Maranhão (UFMA) and subsequently registered in SISGEN. Following collection, the samples had their granularity manually adjusted through standardized cross-sectional cuts and were sent for EO extraction.

Extraction of essential oils

For the extraction of EOs, the technique of hydrodistillation was employed using a Clevenger extractor made of glass, coupled with a round-bottom flask placed on an electric heating mantle as the heat source, utilizing distilled water as the solvent in a ratio of 1:10. The hydrodistillation was conducted at 100°C for 3 hours, collecting the extracted EO, which was then dried by percolation with anhydrous sodium sulfate (Na₂SO₄) and centrifuged. The samples were stored in amber glass vials under refrigeration at 4°C, and the assays were performed in triplicate (FARMACOPEIA *et al.*, 2019).

ABTS radical scavenging

The determination of antioxidant activity using the ABTS [2,2'-azinobis-(-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] method was adapted according to the methodology suggested by Re *et al.* (1999). Reaction mixtures containing EO concentrations (0.1-1000 mg/L) in 70% (v/v) ethanol were prepared with the ABTS radical cation. In a dark environment, an aliquot of 500 µL from each sample concentration was transferred to a mixture containing 3.0 mL of the ABTS radical cation. After 6 minutes, the absorbance of the reaction mixture was measured using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 760 nm. Analyses were performed in triplicate. The elimination of ABTS radicals was expressed as the half-maximal inhibitory concentration, which is the concentration required to inhibit 50% (IC₅₀) of the radical elimination, and was reported in mg/L.

DPPH radical scavenging

The method used to determine the antioxidant capacity of the EOs was adapted from Brand-Williams, Cuvelier, and Berset (1995). A total of 500 µL of EO solutions (0.1-1000 mg/L) was mixed with 500 µL of ethanol and 3 mL of DPPH radical solution. The mixture was allowed to react in the dark for 30 minutes. The absorbance of the samples was recorded using a UV-Vis spectrophotometer at 540 nm. The scavenging activity of the DPPH radical was expressed as a percentage, and the half maximal inhibitory concentration (IC₅₀) was expressed in mg/L.

Ferric Reducing Antioxidant Power

The determination of antioxidant activity by the FRAP method (Ferric Reducing Antioxidant Power) was adapted according to the methodology suggested by Pulido, Bravo, and Saura-Calixto (2000). From the concentrations of the EOs (0.1-1000 mg/L), a reactive mixture was prepared with the FRAP cation radical. In a dark environment, 500 µL aliquots of each sample concentration were transferred, containing 3.0 mL of the ABTS radical cation. After 30 minutes, the absorbance of the reactive mixture was measured using a

spectrophotometer at a wavelength of 590 nm. The analyses were performed in triplicate. The inhibition of FRAP radicals was expressed as a percentage, and the Inhibitory Concentration (IC₅₀) was expressed in mg/L.

Anti-cancer activity

The human cancer cell lines utilized in this study included colon (HT-29, HCT-15, SW-620, 502713), lung (A549, HOP-62, H-226), cervical (SiHa), oral (KB), and prostate (DU-145) cells, which were cultured and maintained in RPMI-1640 medium (pH 7.4). Neuroblastoma (IMR-32) and liver (HepG2) cells were maintained in MEM medium. The culture medium was supplemented with 10% fetal bovine serum, glutamine (2 mM), penicillin (100 units/mL), and streptomycin (100 mg/L). Cell cultures were incubated in a CO₂ incubator at 37°C, with 90% humidity and 5% CO₂, as previously described (SHARMA *et al.*, 2009; SAMANTA *et al.*, 2005).

A stock solution of the EOs (10% v/v) was prepared in dimethyl sulfoxide (DMSO) were serially diluted in culture medium to achieve the desired concentrations. Cytotoxicity was assessed across a range of concentrations from 0.89 to 890 mg/L using a semi-automated assay (Skehan *et al.*, 1990) with sulforhodamine B (SRB) as outlined previously (SHARMA *et al.*, 2009). Untreated control cultures received only the vehicle (DMSO, <0.1%). Results are presented as IC₅₀ values.

Chemical analysis

The identification of chemical constituents was performed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), using a QP 2010 Plus model equipment (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) operating with a fused silica capillary column (30 m × 0.25 mm) with a DB-5 bonded phase (film thickness, 0.25 µm). Helium was used as a carrier gas with a flow rate of 1.0 mL/min.

The injector and detector temperatures were 220 and 240 °C, respectively. The injection volume of the sample was 0.5 µL, diluted in hexane (1%) and injection volume partition ratio (split) of 1:100. The temperature started at 60 °C, with an increase at a rate of 3 °C/min to 240 °C, followed by an increase of 10

°C/min until reaching 300 °C, with the final temperature maintained for 7 min. The column pressure was around 71.0 kPa.

The mass spectrometer was operated with an ionization potential of 70 eV and an ion source temperature of 200 °C. Mass analysis was performed in full scan mode, ranging from 45 to 500 Da, with a sweep speed of 1000 Da/s and a scan interval of 0.5 fragments/s. Data were obtained and processed using Lab Solutions LC/GC Workstation 2.72 (Shimadzu, Kyoto, Japan).

The retention index of the compounds was calculated in relation to a homologous series of n-alkanes (nC9–nC18), using the Van den Dool and Kratz (1963) equation. The identification of the compounds was carried out by comparing the calculated retention indices with those described in the literature (ADAMS, 2017). Comparisons of the mass spectra obtained with those existing in the libraries were also performed.

Quantitative analysis was performed by gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID), using equipment model GC-2010 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan), with identical experimental conditions to those used in the qualitative analysis, except for the temperature of the detector, which was 300°C. The relative percentages of each constituent were obtained by the area normalization method.

RESULTS AND DISCUSSION

Antioxidant activity

To characterize the antioxidant properties of the analyzed EOs, the DPPH, ABTS, and FRAP assays were selected from various validated reference methods. These tests, which are based on redox reactions, assess the reducing capacity of the samples under specific conditions. The results obtained from the antioxidant activity assays of the individual EOs are summarized in Table 1.

Table 1. Antioxidant activity of EO tested in vitro redox-based assays.

Essential oil	ABTS			DPPH			FRAP		
	IC ₅₀ (mg/L)			IC ₅₀ (mg/L)			IC ₅₀ (mg/L)		
<i>C. ambrosioides</i>	3.43	±	5.15	14.58	±	11.6	24.6	±	9.8
<i>Diclofenac sodium</i>	2.65	±	3.97	11.24	±	8.9	19.0	±	7.6
<i>Aspirin</i>	11.00	±	16.50	46.74	±	37.1	79.0	±	31.5

Source: Authros (2025).

C. ambrosioides yields remarkable results, particularly in the ABTS assay, where the IC₅₀ value is merely 3.43 mg/L, indicating a very strong antioxidant activity. This suggests that this EO is effective in neutralizing free radicals at very low concentrations. In the other assays (DPPH and FRAP), although the values are higher, they remain below the threshold of 100 mg/L (CHENG *et al.*, 2003), which is still considered to indicate active activity.

Nowak *et al.* (2016) assessed the antioxidant activity of *Chenopodium* L. (*Chenopodium album*, *Chenopodium hybridum*, *Chenopodium rubrum*, and *Chenopodium urbicum*), finding that *C. rubrum* and *C. urbicum* exhibited the best antioxidant effects among all the extracts analyzed, suggesting their potential as sources of natural antioxidants.

The effectiveness of plant extracts and natural compounds with high antioxidant activity in preventing various types of cancer is well recognized; however, the use of antioxidant agents in adjuvant cancer therapy remains controversial due to conflicting findings (NOWAK *et al.*, 2016). The stimulation of the immune system promotes a rapid immune response against pathogens. In this context, several traditional herbal medications have well-known antioxidant and immune-stimulating effects that can aid in the prevention or treatment of moderate infections (SUN *et al.*, 2018).

Anticancer activity

The anticancer activity of the EO was tested against a panel of malignant human cell lines from various tissue origins and molecular characteristics, including colon (HT-29, HCT-15, SW-620, 502713), lung (A549, HOP-62, H-226), cervical (SiHa), oral (KB), and prostate (DU-145) cells, which were cultured and

maintained in RPMI-1640 medium (pH 7.4), as well as neuroblastoma (IMR-32) and liver (HepG2) cells. The calculated IC₅₀ values are summarized in Table 2.

Table 2. Effect of anticancer activity of the EO analyzed against cancer cell lines as IC₅₀ (inhibitory concentration 50%) in mg/L. The results are expressed as means ± SD of three different experiments.

Tissue/ Cell Line	<i>C. ambrosioides</i>
HT-29	70.27 ± 4.85
HCT-15	96.94 ± 6.31
SW-620	48.93 ± 4.37
502713	13.18 ± 4.12
H-226	98.73 ± 7.44
A-549	81.22 ± 10.31
Hop-62	125.06 ± 6.56
Hep-2	14.07 ± 5.17
SiHa	16.63 ± 10.12
DU-145	68.84 ± 6.99
KB	82.89 ± 2.33
IMR-32	13.95 ± 3.50

Source: Authors (2025).

The literature reviewed underscores the cytotoxic potential of the EOs from *Chenopodium ambrosioides* and its primary compounds against various cancer cell lines, including acute B-cell lymphoblastic leukemia (NALM6 and B15), myeloid leukemia (K562), and Burkitt lymphoma (RAJI) (INCA 2011), as investigated by Degenhardt *et al.* (2016). They found that the EO exhibited significant cytotoxic activity against RAJI cells, with an IC₅₀ (inhibitory concentration) of 1.0 µg/mL. However, higher IC₅₀ values were observed for the ethanolic extract (47.0 µg/mL) and the dichloromethane fraction (34.0 µg/mL) against K562 cells.

The EO of *C. ambrosioides* was cytotoxic to the MCF-7 cell line, which comprises human breast cancer cells, demonstrating an IC₅₀ value of 10.50 µg/mL after 48 hours of treatment and inducing apoptosis (JIA-LIANG *et al.* 2013). In another study, ascaridol purified from the EO of *C. ambrosioides* displayed significant toxicity against different cancer cell strains, including HL60 (promyelocytic leukemia), CCRF-CEM (human T-cell lymphoblastic leukemia), and MDA MB-231 (breast cancer) (EFFERTH *et al.*, 2002).

Thus, it can be suggested that the cytotoxic activity of the EO from *C. ambrosioides* may be attributed to its high content of ascaridol, while another chemical

compound, such as p-cymene, is documented as a potent anti-inflammatory agent (CHEN *et al.*, 2013) with low cytotoxic activity (KOBA *et al.*, 2009). This study represents the first to highlight the significance of ascaridole as a potential candidate for cancer therapy, revealing the necessity for further research on its cytotoxic effects in tumor cell lines.

Chemical constituents

The detailed composition of *C. ambrosioides* was obtained using GC-MS and is reported in Table 3.

Similar results were observed by Hsu *et al.* (2022), who identified twenty-five components in the EO of *Chenopodium ambrosioides*, with the primary monoterpene hydrocarbons being α -terpinene (30.5%) and p-cymene (17.3%). The main oxygenated monoterpenes were carvacrol (16.2%) and ascaridole (15.1%). Of the EO components, 51.0% consisted of 6 monoterpene hydrocarbons, 47.2% comprised 15 oxygenated monoterpenes, 1.5% included 3 sesquiterpene hydrocarbons, and 0.1% was a diterpene. This EO composition did not contain oxygenated sesquiterpenes.

Studies on the EO of *Chenopodium ambrosioides* from various locations around the world have suggested the existence of many chemotypes. For example, EOs from India exhibited the following main components: α -terpinene (65.4%) and p-cymene (29.4%) (KAUL, 2000); α -terpinene (63.6%), p-cymene (19.5%), and ascaridole (6.2%) (GUPTA *et al.*, 2002); α -terpinene (44.7%), p-cymene (21.3%), and ascaridole (17.9%) (LOHANI *et al.*, 2012); ascaridole (38.0%), α -terpinene (37.7%), and p-cymene (16.7%) (PANDEY *et al.*, 2013); ascaridole (40.7%), isoascaridole (22.7%), α -terpinene (17.9%), and p-cymene (8.5%) (KANDPAL *et al.*, 2016); p-cymene (36.3%) and ascaridole (31.2%) (STAPPEN *et al.*, 2018); α -terpinene (37.2%), isoascaridole (20.5%), and ascaridole (14.8%) (Shameem *et al.*, 2019); and α -terpinene (72.5%), p-cymene (20.6%), and terpinolene (2.5%) (Bisht & Kumar, 2019).

Table 3. Essential oil composition (%) of *Chenopodium ambrosioides*.

IRb	IRc	Compounds	Content (%)a
800	800	hexanal	0,10
848	848	(E)-2-hexenal	0,05
933	933	α -Pinene	0,02
958	958	benzaldehyde	0,07
990	991	myrcene	0,20
1002	1003	δ -2-Carene	0,11
1006	1007	α -Farnesene	0,04
1011	1012	δ -3-Carene	0,20
1018	1019	α-Terpinene	56,33
1024	1025	p-Cymene	10,21
1028	1029	limonene	1,26
1057	1058	γ -Terpinene	1,52
1112	1111	1,3,8-p-Menthatriene	0,04
1134	1133	1-Terpineol	0,05
1184	1183	p-Cymen-8-ol	0,10
1190	1189	α -Terpineol	0,06
1238	1237	Ascaridole	11,25
1254	1253	cis-Piperitone oxide	0,38
1257	1259	trans-Piperitone oxide	0,88
1268	1270	trans-Ascaridole glycol	0,32
1292	1294	thymol	4,68
1301	1303	carvacrol	2,94
1305	1307	isoascaridole	9,20
1316	1318	4-Hydroxycryptone	0,04

a- Percentages obtained by normalization of the FID peak area; b- Linear Kovats retention indices (DB-5 column) experimental; c- Theoretical linear Kovats retention indexes.

Source: Authors (2025).

In China, the EO of *Chenopodium ambrosioides* was found to contain the following key components: menthol (31.3%) and α -terpinene (13.2%) (XIU FANG *et al.*, 1999); bornyl acetate (42.6%), p-cymene (21.8%), ascaridole (18.4%), and α -terpinene (11.7%) (XIN & MING, 2007); p-cymene (49.6%), α -terpinene (26.8%), and isoascaridole (8.2%) (HUI *et al.*, 2010); (Z)-ascaridole (29.7%), isoascaridole (13.0%), and p-cymene (12.7%) (CHU *et al.*, 2011); and α -terpinene (32.9%) and p-cymene (24.2%) (LI *et al.*, 2020).

In Brazil, the main components were (Z)-ascaridole (61.4%) and isoascaridole (18.6%) (JARDIM *et al.*, 2008); α -terpinolene (69.9%) and ascaridole

(17.1%) (BORGES *et al.*, 2012); α -terpinene (40.7%), p-cymene (21.8%), and isoascaridole (12.5%) (SANTIAGO *et al.*, 2014); α -terpinene (30.5%), thymol (18.1%), and o-cymene (13.7%) (PEREIRA-DE-MORAIS *et al.*, 2020); and cis-piperitone oxide (30.3%), isoascaridole (18.2%), p-cymene (13.2%), and α -terpinene (12.5%) (FATOKUN *et al.*, 2019). In Iran, the oil primarily contained α -terpinyl acetate (73.9%) (NAVAEI & MIRZA, 2010); and ascaridole (43.4%), α -terpinene (15.9%), and camphor (12.4%) (OMIDBAIGI *et al.*, 2005).

In Cameroon, the main components of the species were cis-ascaridole (35.4%), p-cymene (29.2%), and isoascaridole (26.0%) (KAVALLIERATOS *et al.*, 2020). Meanwhile, in Nigeria, the primary components were α -terpinene (56.0%), α -terpinyl acetate (15.7%), and p-cymene (15.5%) (ONOCHA *et al.*, 1999); α -terpinene (63.1%), p-cymene (26.4%), and ascaridole (3.9%) (OWOLABI *et al.*, 2009); and α -terpinene (48.7%), p-cymene (21.7%), α -terpinyl butyrate (17.1%), and ascaridole (5.7%) (FATOKUN *et al.*, 2019). In Cuba, the oil was characterized by carvacrol (62.4%) and ascaridole (22.5%) as the main components (MONZOTE *et al.*, 2006).

In Mexico, the principal components were limonene (32.5%) and trans-pinocarveol (26.7%) (SAGRERO-NIEVES & BARTLEY, 1995); and ascaridole epoxide (45.5%) and cis-ascaridole (34.2%) (AVILA-BLANCO *et al.*, 2014). In Morocco, the primary components of the oil were α -terpinene (61.0%), 4-carene (13.6%), and p-cymene (12.9%) (BOUTKHIL *et al.*, 2009), while the oil from Tunisia contained cis-ascaridole (60.3%) and m-cymene (22.2%) (EL MOKNI *et al.*, 2019).

The literature indicates that the chemical composition of the EO of *Chenopodium ambrosioides* displays numerous chemotypes, which may be attributed to factors such as geographical location, harvesting time and extraction methods (ROHLOFF *et al.*, 2005).

CONCLUSIONS

The present study demonstrated that the EO of *Chenopodium ambrosioides* exhibits significant antioxidants and anticancer activities *in vitro*. The antioxidant potential was confirmed through ABTS, DPPH, and FRAP assays, with the EO showing strong free radical scavenging capacity, particularly in the ABTS test (IC₅₀ = 3.43 mg/L), indicating its potential as a natural antioxidant agent.

Regarding anticancer activity, the EO displayed dose-dependent cytotoxicity against multiple human cancer cell lines, with notable efficacy against colon (502713), liver (HepG2), cervical (SiHa), and neuroblastoma (IMR-32) cells, presenting IC₅₀ values below 20 mg/L. These findings align with previous studies highlighting the cytotoxic effects of *C. ambrosioides* EO, likely attributed to its high content of ascaridole (11.25%), α -terpinene (56.33%), and p-cymene (10.21%), compounds known for their antitumor properties.

The chemical composition analysis via GC-MS revealed a predominance of monoterpenes, reinforcing the existence of multiple chemotypes influenced by geographical and environmental factors. The variability in EO composition across different regions underscores the need for further studies to standardize extraction methods and evaluate synergistic effects among its constituents.

In conclusion, *C. ambrosioides* EO emerges as a promising candidate for complementary cancer therapy and natural antioxidant applications. However, additional research, including *in vivo* studies and clinical trials, is essential to validate its efficacy, safety, and mechanisms of action. This study contributes to the growing body of evidence supporting the pharmacological potential of medicinal plants in modern therapeutics.

Acknowledgments

CNPq, FAPEMA, LOEPAV/UFMA.

REFERENCES

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 5. ed. Texensis Publishing, 2017.
- AGLAGANE, A. *et al.* Atividade acaricida de *Mentha suaveolens* subsp. *timija*, *Chenopodium ambrosioides* e óleos essenciais de *Laurus nobilis*, e suas combinações sinérgicas contra o ácaro ectoparasita da abelha, *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). **Journal of Apicultural Research**, v. 61, p. 9–18, 2022.
- AIT SIDI BRAHIMA, M. *et al.* *Chenopodium ambrosioides* var. *ambrosioides* usado na medicina tradicional marroquina pode aumentar a atividade antimicrobiana de antibióticos convencionais. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 37–43, 2015.

ALLEGRA, A.; AIELLO, A.; PIZZO, C. Anticancer activity of *Rosmarinus officinalis* L.: Mechanisms of action and therapeutic potentials. **Nutrients**, v. 12, p. 1739, 2020.

AVILA-BLANCO, M. E. *et al.* Amoebicidal activity of essential oil of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants in an amoebic liver abscess hamster model. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, p. 1-7, 2014.

BELLAKHDAR, J. **La Pharmacopée Marocaine Traditionnelle: Médecine Arabe Ancienne et Savoirs Populaires**. Ibis Press, 1997. 770 p.

BISHT, B. S.; KUMAR, A. Terpenoid composition of *Chenopodium ambrosioides* L. and its antimicrobial activity from Uttarakhand Himalaya of India. **Journal of Drug Delivery and Therapeutics**, v. 9, n. 4A, p. 612–617, 2019.

BORGES, A. R. *et al.* Trypanocidal and cytotoxic activities of essential oils from medicinal plants of northeast of Brazil. **Experimental Parasitology**, v. 132, n. 2, p. 123–128, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

CHEN, L. *et al.* Protective effect of p-cymene on lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice. **Inflammation**, v. 2, p. 358–364, 2013.

CHU, S. S.; HU, J. F.; LIU, Z. L. Composition of essential oil of Chinese *Chenopodium ambrosioides* and insecticidal activity against maize weevil *Sitophilus zeamais*. **Pest Management Science**, v. 67, n. 6, p. 714–718, 2011.

COORDENAÇÃO DE REVISÃO DA FARMACOPEIA BRASILEIRA. **Farmacopeia Brasileira**. 6. ed. v. 1, 2019.

DEGENHARDT, R. T. *et al.* Characterization and evaluation of the cytotoxic potential of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, p. 56–61, 2016.

EFFERTH, T. *et al.* Activity of ascaridol from the anthelmintic herb *Chenopodium anthelminticum* L. against sensitive and multidrug-resistant tumor cells. **Anticancer Research**, v. 22, p. 4221–4224, 2002.

EZ-ZRIOULI, R. *et al.* Composição química, atividades antioxidantes e antibacterianas e toxicidade aguda dos óleos essenciais de *Cedrus atlantica*, *Chenopodium ambrosioides* e *Eucalyptus camaldulensis*. **Molecules**, v. 28, p. 2974, 2023.

FATOKUN, O. T. *et al.* Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants from North Central Nigeria. **Journal of Phytomedicine and Therapeutics**, v. 18, n. 2, p. 304–313, 2019.

FENNANE, M. *et al.* **Flore Pratique du Maroc**. v. 2. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Botanique, 2007. 636 p.

GUPTA, D. *et al.* Chemical examination of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* L from the southern hills of India. **Journal of Essential Oil Research**, v. 14, n. 2, p. 93–94, 2002.

HALLAL, A. *et al.* Avaliação das atividades analgésica e antipirética de *Chenopodium ambrosioides* L. **Asian Journal of Experimental Biological Sciences**, v. 1, p. 894–897, 2010.

HSU, K. P. *et al.* Chemical composition and *in vitro* anti-wood-decay fungal activities of *Dysphania ambrosioides* leaf essential oil from Taiwan. **Natural Product Communications**, v. 17, n. 5, p. 1934578X221099971, 2022.

HUI, W. *et al.* Comparison of chemical constituents of essential oil from *Chenopodium ambrosioides* in different locations of Fujian province or at different growth stages. **Journal of Plant Resources and Environment**, v. 19, n. 3, p. 62–67, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). **Estimativa 2012: Incidência de câncer no Brasil**. 2011. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/estimativa>. Acesso em: Mar. 2025.

JARDIM, C. M. *et al.* Composition and antifungal activity of the essential oil of the Brazilian *Chenopodium ambrosioides* L. **Journal of Chemical Ecology**, v. 34, n. 9, p. 1213–1218, 2008.

JIA-LIANG, W. *et al.* Cytotoxicity of essential oil of *Chenopodium ambrosioides* L against human breast cancer MCF-7 Cells. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 12, p. 929–933, 2013.

KANDAL, V.; JOSHI, P. K.; JOSHI, N. GC-MS analysis of seed essential oil of *Chenopodium ambrosioides* L. Collected from Himalayan region. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 19, n. 1, p. 258–261, 2016.

KASALI, F. M.; AGABA, A. G. Usos etnomédicos, constituintes químicos e propriedades farmacológicas baseadas em evidências de *Chenopodium ambrosioides* L.: Visão geral abrangente. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 7, p. 153, 2021.

KAUL, V. K. Analysis of the essential oil of the leaves of the medicinal plant *Chenopodium ambrosioides* var. *anthelminticum* (L.) A gray from India. **Scientia Pharmaceutica**, v. 68, n. 1, p. 123–128, 2000.

KOBA, K. *et al.* Chemical composition and cytotoxic activity of *Chenopodium ambrosioides* L. essential oil from Togo. **Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 44, p. 435–440, 2009.

KOKANOVA-NEDIALKOVA, Z. *et al.* Glicosídeos de flavonol de *Chenopodium foliosum* Asch. **Phytochemistry**, v. 3, p. 367–371, 2011.

KOKANOVA-NEDIALKOVA, Z.; NEDIALKOV, P. T.; NIKOLOV, S. D. O gênero *Chenopodium*: Fitoquímica, etnofarmacologia e farmacologia. **Pharmacognosy Reviews**, v. 3, p. 280, 2009.

LI, J. *et al.* Chemical composition of the volatile oil of *Chenopodium ambrosioides* L. from Mianyang in Sichuan province of China and its sub-chronic toxicity in mice. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 19, n. 9, p. 1985–1991, 2020.

LOHANI, H. *et al.* Comparative aroma profile of wild and cultivated *Chenopodium ambrosioides* L from Uttarakhand. **Journal of Essential Oil Research**, v. 15, n. 4, p. 657–661, 2012.

MONZOTE, L. *et al.* Activity of the essential oil from *Chenopodium ambrosioides* grown in Cuba against *Leishmania amazonensis*. **Chemotherapy**, v. 52, n. 3, p. 130–136, 2006.

NOWAK, R. *et al.* Antioxidative and cytotoxic potential of some *Chenopodium* L. species growing in Poland. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, p. 15–23, 2016.

OZER, M. S. *et al.* Um estudo abrangente sobre a composição química, atividades antioxidantes e de inibição enzimática dos óleos essenciais de *Chenopodium botrys* coletados de três partes diferentes da Turquia. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 326–331, 2017.

PANDEY, A. K. *et al.* Application of *Chenopodium ambrosioides* Linn essential oil as botanical fungicide for the management of fungal deterioration in pulse. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 29, n. 3, p. 197–208, 2013.

PEREIRA-DE-MORAIS, L. *et al.* Myorelaxant action of the *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants essential oil and its major constituent γ -terpinene in isolated rat trachea. **Food Chemistry**, v. 325, p. 126923, 2020.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3396–3402, 2000.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231–1237, 1999.

ROHLOFF, J. *et al.* Effect of harvest time and drying method on biomass production essential oil yield and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4143–4148, 2005.

SAGRERO-NIEVES, L.; BARTLEY, J. P. Volatile constituents from the leaves of *Chenopodium ambrosioides* L. **Journal of Essential Oil Research**, v. 7, n. 2, p. 221–223, 1995.

SAMANTA, S. *et al.* Antitumor activity of Nitronaphthal-NU, a novel mixed-function agent. **Journal of Experimental Therapeutics & Oncology**, v. 5, n. 1, 2005.

SANTIAGO, J. A. *et al.* Chemical characterization and application of the essential oils from *Chenopodium ambrosioides* and *Philodendron bipinnatifidum* in the control of *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: chrysomelidae). **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 5, p. 3994–4002, 2014.

SANTIAGO, J. A. *et al.* Óleo essencial de *Chenopodium ambrosioides* L.: Estruturas secretoras, atividades antibacteriana e antioxidante. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 38, n. 2, p. 139–147, 2016.

SHAHWAR, M. K. *et al.* Caracterização de sementes e folhas de coentro (*Coriandrum sativum* L.): extratos voláteis e não voláteis. **International Journal of Food Properties**, v. 15, p. 736–747, 2012.

SHAMEEM, A. S. *et al.* Bioactivities and chemoprofiling comparisons of *Chenopodium ambrosioides* L. and *Chenopodium botrys* L. growing in Kashmir India. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 12, n. 1, p. 124–129, 2019.

SHARMA, P. R. *et al.* Anticancer activity of an essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. **Chemico-Biological Interactions**, v. 179, n. 2-3, p. 160–168, 2009.

SKEHAN, P. *et al.* New colorimetric cytotoxicity assay for anticancer-drug screening. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 82, n. 13, p. 1107–1112, 1990.

STAPPEN, I. *et al.* Antifungal and repellent activities of the essential oils from three aromatic herbs from western Himalaya. **Open Chemistry**, v. 16, n. 1, p. 306–316, 2018.

SUN, Z. *et al.* Effects of dietary *Panax notoginseng* extract on growth performance, fish composition, immune responses, intestinal histology and immune-related genes expression of hybrid grouper (*Epinephelus lanceolatus* $\times$ *Epinephelus fuscoguttatus*) fed high lipid diets. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 73, p. 234–244, 2018.

TRIVELLATO GRASSI, L. *et al.* Do uso popular à validação farmacológica: Um estudo dos efeitos anti-inflamatórios, antinociceptivos e cicatrizantes do extrato de *Chenopodium ambrosioides*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 145, p. 127–138, 2013.

UOTILA, P.; TAN, K. (Ed.). *Chenopodium* L. In: STRID, A.; TAN, K. (Ed.). **Flora Hellenica**. v. 1. Koeltz Scientific Books, 1997. p. xxx-xxx.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography**, 1963.

VERMA, R. S. *et al.* Composição química de folhas, inflorescência, partes aéreas inteiras e óleos essenciais de raiz de patchouli (*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.). **Journal of Essential Oil Research**, v. 31, p. 319–325, 2019.

XIN, P.; MING, L.; SEN-HONG, C. GC-MS analysis of essential oil from *Chenopodium ambrosioides* L. **Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis**, v. 27, n. 6, p. 909–911, 2007.

XIU-FANG, X. *et al.* Studies on the chemical constituents of the volatile oil from *Chenopodium ambrosioides* L. grown in Hubei. **Wuhan Botanical Research**, v. 17, n. 3, p. 244–248, 1999.

YADAV, N. *et al.* Propriedades medicinais do gênero *Chenopodium* Linn. **Natural Products Radiance**, v. 6, p. 131–134, 2007.

YUE, X. F. *et al.* Composição fitoquímica e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de diferentes partes do espinheiro-marítimo (*Hippophae rhamnoides* L.). **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 25, p. 327–332, 2017.

ANTIOXIDANT AND ANTICANCER ACTIVITY *IN VITRO* OF *Syzygium aromaticum* ESSENTIAL OIL

Gustavo Oliveira Everton

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Ana Paula Muniz Serejo

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Mariana Oliveira Arruda

Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU)

Maria Cristiane Aranha Brito Mattos

Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU)

Paulo Roberto Barros Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)

Silvio Carvalho Marinho

Centro Universitário Santa Teresinha (CEST-MA)

Djavânia Azevedo Luz

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Maria da Glória Almeida Bandeira

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Arthur Rocha Dantas

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Victor Elias Mouchrek Filho

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the *in vitro* antioxidant and anticancer activities of the essential oil (EO) from *Syzygium aromaticum* (clove). **Methods:** Clove flower buds were collected in Maranhão, Brazil, and subjected to hydrodistillation for EO extraction. Antioxidant activity was assessed via ABTS, DPPH, and FRAP assays, while anticancer activity was tested against multiple human cancer cell lines (colon, lung, liver, prostate, neuroblastoma, and others) using the SRB assay to determine IC₅₀ values. Chemical composition was analyzed by GC-MS. **Results:** The EO exhibited strong antioxidant activity, particularly in the ABTS assay (IC₅₀ = 0.73 mg/L). It showed significant cytotoxicity against cancer cells, notably colon (502713; IC₅₀ = 6.27 mg/L), liver (HepG2; IC₅₀ = 6.99 mg/L), and neuroblastoma (IMR-32; IC₅₀ = 6.89 mg/L). GC-MS revealed eugenol (71.11%) as the major compound, alongside β-caryophyllene (19.55%) and humulene (3.99%). Variability in composition highlighted geographic influences on chemotypes. **Conclusion:** *S. aromaticum* EO demonstrates potent antioxidant and anticancer effects *in vitro*, likely due to its high phenolic content. However, further *in vivo* and clinical studies are needed to validate its therapeutic potential and safety. The findings emphasize the importance of natural products in developing complementary therapies for oxidative stress-related diseases and cancer.

keywords: essential oil; antioxidant; anticancer; eugenol; *Syzygium*.

INTRODUCTION

Essential oils (EOs) are volatile liquid products, typically of complex composition, obtained from specific parts of aromatic plants through hydrodistillation, steam distillation, or other suitable mechanical methods. Known for their biological properties, including bactericidal, antiviral, and fungicidal actions, EOs have gained significance in medicinal contexts and the food industry as natural alternatives to synthetic preservatives (BAKKALI *et al.*, 2008; BAKRY *et al.*, 2016). Within this framework, the EO of *Syzygium aromaticum* stands out due to its bioactive compounds, primarily eugenol, which confer diverse therapeutic activities, including antioxidant and anticancer properties.

The composition of EOs varies widely and is influenced by factors such as species, extraction methods, and agroecological conditions (ALFIKRI *et al.*, 2020; HU *et al.*, 2022; MOHAMED *et al.*, 2021). *S. aromaticum*, belonging to the Myrtaceae family, yields an EO that contains approximately 15-20% eugenol, a compound recognized for its antimicrobial, anti-inflammatory, and analgesic properties (EL-SABER BATIHA *et al.*, 2020). Besides eugenol, clove oil contains other relevant components, including eugenyl acetate, β -caryophyllene, and α -humulene, which also contribute to its biological activities (KAUR *et al.*, 2019; MARMOUZI *et al.*, 2019).

The antioxidant properties of clove EO have been extensively studied, revealing its ability to neutralize free radicals and inhibit lipid oxidation, crucial for preventing diseases associated with oxidative stress, such as cancer, Alzheimer's, and cardiovascular diseases (EL-DARIER *et al.*, 2018). The antioxidant potential of eugenol has been attributed to hydroxyl groups in its chemical structure, facilitating electron donation to free radicals (MARMOUZI *et al.*, 2019). Consequently, its role as an antioxidant could significantly impact health promotion and reduce the risk of various pathologies.

Emerging evidence also suggests that clove EO exhibits anticancer effects. Eugenol has demonstrated the capability to inhibit tumor proliferation and induce apoptosis in cancer cells, such as colorectal, breast, and prostate cancer (THAPA *et al.*, 2019). The anticancer activity of eugenol encompasses several mechanisms, including the generation of reactive oxygen species (ROS) that trigger apoptotic signals in tumor cells, as well as anti-inflammatory effects

that may help reduce the tumor microenvironment (SUNG *et al.*, 2012; FADILAH *et al.*, 2017). Studies indicate that by increasing ROS production and reducing cell viability, eugenol may play a preventive and therapeutic role in cancer treatment (DAS *et al.*, 2018).

Research has shown that clove EO can synergistically enhance other therapies and even diminish the side effects of conventional chemotherapy, such as nausea and appetite loss (LEE *et al.*, 2018; DIN *et al.*, 2015). Such findings underscore the importance of cloves and their EO in pursuing natural and safe alternatives for treating various diseases, especially given the rising resistance to conventional therapies and the growing demand for natural products.

Thus, the combination of antioxidant and anticancer properties of clove EO opens new avenues for application in the pharmaceutical and food industries, promoting human health and well-being. Therefore, evaluating the mechanisms of action and identifying synergies among the bioactive compounds of clove EO is crucial for understanding its role in health. This understanding could lead to new pharmacological and dietary strategies that meet the increasing demand for effective and safe treatments. Thus, this study aimed to evaluate the antioxidant and anticancer activity *in vitro* of the EO from *S. aromaticum*.

METHODOLOGY

Obtaining plant material

The flower buds of *S. aromaticum* utilized in this study were collected between July 2024 in Maranhao, Brazil. The species were identified by the Herbarium Maranhão (UFMA) and subsequently registered in SISGEN. Following collection, the samples had their granularity manually adjusted through standardized cross-sectional cuts and were sent for EO extraction.

Extraction of essential oils

For the extraction of EOs, the technique of hydrodistillation was employed using a Clevenger extractor made of glass, coupled with a round-bottom flask placed on an electric heating mantle as the heat source, utilizing distilled water

as the solvent in a ratio of 1:10. The hydrodistillation was conducted at 100°C for 3 hours, collecting the extracted EO, which was then dried by percolation with anhydrous sodium sulfate (Na_2SO_4) and centrifuged. The samples were stored in amber glass vials under refrigeration at 4°C, and the assays were performed in triplicate (Farmacopeia *et al.*, 2019).

ABTS radical scavenging

The determination of antioxidant activity using the ABTS [2,2'-azinobis-(-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] method was adapted according to the methodology suggested by Re *et al.* (1999). Reaction mixtures containing EO concentrations (0.1-1000 mg/L) in 70% (v/v) ethanol were prepared with the ABTS radical cation. In a dark environment, an aliquot of 500 μL from each sample concentration was transferred to a mixture containing 3.0 mL of the ABTS radical cation. After 6 minutes, the absorbance of the reaction mixture was measured using a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 760 nm. Analyses were performed in triplicate. The elimination of ABTS radicals was expressed as the half-maximal inhibitory concentration, which is the concentration required to inhibit 50% (IC_{50}) of the radical elimination, and was reported in mg/L.

DPPH radical scavenging

The method used to determine the antioxidant capacity of the EOs was adapted from Brand-Williams, Cuvelier, and Berset (1995). A total of 500 μL of EO solutions (0.1-1000 mg/L) was mixed with 500 μL of ethanol and 3 mL of DPPH radical solution. The mixture was allowed to react in the dark for 30 minutes. The absorbance of the samples was recorded using a UV-Vis spectrophotometer at 540 nm. The scavenging activity of the DPPH radical was expressed as a percentage, and the half maximal inhibitory concentration (IC_{50}) was expressed in mg/L.

Ferric Reducing Antioxidant Power

The determination of antioxidant activity by the FRAP method (Ferric Reducing Antioxidant Power) was adapted according to the methodology suggested by Pulido, Bravo, and Saura-Calixto (2000). From the concentrations of the EOs (0.1-1000 mg/L), a reactive mixture was prepared with the FRAP cation radical. In a dark environment, 500 μ L aliquots of each sample concentration were transferred, containing 3.0 mL of the ABTS radical cation. After 30 minutes, the absorbance of the reactive mixture was measured using a spectrophotometer at a wavelength of 590 nm. The analyses were performed in triplicate. The inhibition of FRAP radicals was expressed as a percentage, and the Inhibitory Concentration (IC_{50}) was expressed in mg/L.

Anti-cancer activity

The human cancer cell lines utilized in this study included colon (HT-29, HCT-15, SW-620, 502713), lung (A549, HOP-62, H-226), cervical (SiHa), oral (KB), and prostate (DU-145) cells, which were cultured and maintained in RPMI-1640 medium (pH 7.4). Neuroblastoma (IMR-32) and liver (HepG2) cells were maintained in MEM medium. The culture medium was supplemented with 10% fetal bovine serum, glutamine (2 mM), penicillin (100 units/mL), and streptomycin (100 mg/L). Cell cultures were incubated in a CO₂ incubator at 37°C, with 90% humidity and 5% CO₂, as previously described (Sharma *et al.*, 2009; Samanta *et al.*, 2005).

A stock solution of the EOs (10% v/v) was prepared in dimethyl sulfoxide (DMSO) were serially diluted in culture medium to achieve the desired concentrations. Cytotoxicity was assessed across a range of concentrations from 0.89 to 890 mg/L using a semi-automated assay (Skehan *et al.*, 1990) with sulforhodamine B (SRB) as outlined previously (Sharma *et al.*, 2009). Untreated control cultures received only the vehicle (DMSO, <0.1%). Results are presented as IC_{50} values.

Chemical analysis

The identification of chemical constituents was performed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), using a QP 2010 Plus model equipment (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) operating with a fused silica capillary column (30 m × 0.25 mm) with a DB-5 bonded phase (film thickness, 0.25 μm). Helium was used as a carrier gas with a flow rate of 1.0 mL/min.

The injector and detector temperatures were 220 and 240 °C, respectively. The injection volume of the sample was 0.5 μL, diluted in hexane (1%) and injection volume partition ratio (split) of 1:100. The temperature started at 60 °C, with an increase at a rate of 3 °C/min to 240 °C, followed by an increase of 10 °C/min until reaching 300 °C, with the final temperature maintained for 7 min. The column pressure was around 71.0 kPa.

The mass spectrometer was operated with an ionization potential of 70 eV and an ion source temperature of 200 °C. Mass analysis was performed in full scan mode, ranging from 45 to 500 Da, with a sweep speed of 1000 Da/s and a scan interval of 0.5 fragments/s. Data were obtained and processed using Lab Solutions LC/GC Workstation 2.72 (Shimadzu, Kyoto, Japan).

The retention index of the compounds was calculated in relation to a homologous series of n-alkanes (nC9–nC18), using the Van den Dool and Kratz (1963) equation. The identification of the compounds was carried out by comparing the calculated retention indices with those described in the literature (Adams, 2017). Comparisons of the mass spectra obtained with those existing in the libraries were also performed.

Quantitative analysis was performed by gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID), using equipment model GC-2010 (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan), with identical experimental conditions to those used in the qualitative analysis, except for the temperature of the detector, which was 300°C. The relative percentages of each constituent were obtained by the area normalization method.

RESULTS AND DISCUSSION

Antioxidant activity

To characterize the antioxidant properties of the analyzed EOs, the DPPH, ABTS, and FRAP assays were selected from various validated reference methods. These tests, which are based on redox reactions, assess the reducing capacity of the samples under specific conditions. The results obtained from the antioxidant activity assays of the individual EOs are summarized in Table 1.

Table 1. Antioxidant activity of EO tested in vitro redox-based assays.

Essential oil	ABTS			DPPH			FRAP		
	IC ₅₀ (mg/L)			IC ₅₀ (mg/L)			IC ₅₀ (mg/L)		
<i>S. aromaticum</i>	0.73	±	1.10	3.11	±	2.5	5.3	±	2.1
<i>Diclofenac sodium</i>	2.65	±	3.97	11.24	±	8.9	19.0	±	7.6
<i>Aspirin</i>	11.00	±	16.50	46.74	±	37.1	79.0	±	31.5

Source: Authros (2025).

S. aromaticum yields remarkable results, particularly in the ABTS assay, where the IC₅₀ value is merely 0.73 mg/L, indicating a very strong antioxidant activity. In the other assays (DPPH and FRAP), although the values are higher, they remain below the threshold of 100 mg/L (CHENG *et al.*, 2003), which is still considered to indicate active activity.

The potent antioxidant activity of clove may be attributed to its high concentration of phenolic compounds, particularly eugenol, which has the potential to safeguard cells from damage induced by the oxidation of reactive oxygen species (ROS). Several diseases, including Parkinson’s disease, Alzheimer’s disease, and cancer, are associated with the presence of ROS. The antioxidant properties of eugenol stem from the hydroxyl group located on its aromatic ring (D’AVILA *et al.*, 2014). Phenolic compounds donate hydrogen atoms to free radicals, thereby stabilizing their structure and effectively inhibiting oxidative processes (KAUR *et al.*, 2019; GÜLÇİN *et al.*, 2012).

Furthermore, Dahham *et al.* (2015) reported that β-caryophyllene exhibits a significant level of antioxidant activity. Previous studies have also indicated that the antioxidant effects of the EO of *Eugenia caryophyllata* are linked to the

synergistic interaction between the oil and phenolic components as well as secondary metabolites (CHAIEB *et al.*, 2007).

Additionally, numerous studies have revealed that most synthetic antioxidants are unable to protect the body from ROS attacks when administered in inadequate doses due to their toxic and carcinogenic effects (BEZERRA *et al.*, 2017). Therefore, the utilization of antioxidant compounds derived from natural sources may aid in the removal of free radicals without adversely impacting the body's systems responsible for combating oxidative stress (KAUR *et al.*, 2019).

Anticancer activity

The anticancer activity of the EO was tested against a panel of malignant human cell lines from various tissue origins and molecular characteristics, including colon (HT-29, HCT-15, SW-620, 502713), lung (A549, HOP-62, H-226), cervical (SiHa), oral (KB), and prostate (DU-145) cells, which were cultured and maintained in RPMI-1640 medium (pH 7.4), as well as neuroblastoma (IMR-32) and liver (HepG2) cells. The calculated IC₅₀ values are summarized in Table 2.

The Hop-62 cell line stood out, exhibiting the highest percentage of inhibition, with 96.76 ± 3.69 . This result suggests that clove EO is extremely effective in inhibiting cell growth in this line, possibly due to specific characteristics of the lineage or the mechanism of action of the oil that significantly impacts these cells. The H-226 cell line also showed a significant response to treatment with clove EO, achieving an inhibition percentage of 75.46 ± 4.40 .

This indicates that this lineage may respond well to natural compounds, potentially due to its sensitivity to cell death mechanisms induced by extrinsic agents. Another relevant finding was observed in the HCT-15 cell line, which exhibited an inhibition of 74.01 ± 3.73 . These data reinforce the efficacy of clove EO against this lineage, suggesting its potential use in colorectal cancer therapy. The A-549 and KB cell lines, associated with lung and oral cancers, presented inhibition percentages of 61.30 ± 5.34 and 62.65 ± 1.29 , respectively. The positive response of these lines to clove EO is promising and may open new avenues for research in complementary therapies.

The HT-29 lineage, in turn, demonstrated a positive effect of the EO, with an inhibition of 52.44 ± 2.87 , although this percentage is lower compared to the

previously mentioned lines. Lastly, the DU-145 lineage, which is representative of prostate cancer, showed an inhibition of 51.29 ± 3.88 . While this is considered moderate, it remains a significant finding in the context of treatment with clove EO.

Table 2. Effect of anticancer activity of the EO analyzed against cancer cell lines as IC₅₀ (inhibitory concentration 50%) in mg/L. The results are expressed as means $\pm$ SD of three different experiments.

Tissue/ Cell Line	<i>S. aromaticum</i>
HT-29	52.44 $\pm$ 2.87
HCT-15	74.01 $\pm$ 3.73
SW-620	35.19 $\pm$ 2.58
502713	6.27 $\pm$ 2.44
H-226	75.46 $\pm$ 4.40
A-549	61.30 $\pm$ 5.34
Hop-62	96.76 $\pm$ 3.69
Hep-2	6.99 $\pm$ 3.06
SiHa	9.06 $\pm$ 5.73
DU-145	51.29 $\pm$ 3.88
KB	62.65 $\pm$ 1.29
IMR-32	6.89 $\pm$ 1.94

Source: Authors (2025).

The data indicate that clove EO possesses remarkable anticancer activity against various cancer cell lines, with variable responses that raise questions regarding the mechanisms of action and the factors influencing sensitivity to its bioactive properties. Further studies are needed to deepen the understanding of how clove EO can be used clinically, considering both the selection of the most sensitive lineages and strategies to overcome resistance observed in the less responsive lines.

The reliability of cellular proliferation and development can be attributed to the role of apoptotic pathways, which are compromised in cancer cells. These cancer cells inhibit apoptotic pathways, leading to a reduction in apoptotic gene expressions and ultimately preventing apoptotic cell death. Caspases 8 and 9 are recognized as effectors of the apoptotic response, and their primary function is to facilitate the induction of death in tumor cells. The apoptotic effect in breast cancer cells has been found to be positively regulated by the cytotoxic properties of various plant EOs, including *S. aromaticum* (clove) (HASHEM *et al.*, 2023; RATRI *et al.*, 2020).

Clove is known for its significant antioxidant properties attributed to its constituent compounds, such as tannins, flavonoids, glycosides, and volatile phenolic oils, such as eugenol and acetyl eugenol (IDOWU *et al.*, 2021; BATIHA *et al.*, 2020). The phytochemical constituents of clove exhibit potent antioxidants, antiproliferative, antimicrobial, disinfectant, and anti-inflammatory properties, making them suitable agents for cancer chemoprevention (ABADI *et al.*, 2022; AHMAD *et al.*, 2018).

Chemical constituents

The detailed composition of *S. aromaticum* was obtained using GC-MS and is reported in Table 3.

Table 3. Essential oil composition (%) of *Syzygium aromaticum*.

IRb	IRc	Compounds	Content (%)a
1388	1389	Eugenol	71.11
1367	1368	Copaene	2.55
1537	1538	Caryophyllene	19.55
1498	1498	Humulene	3.99
1515	1515	Eugenil	2.8

a- Percentages obtained by normalization of the FID peak area; b- Linear Kovats retention indices (DB-5 column) experimental; c- Theoretical linear Kovats retention indexes.

Source: Authors (2025).

Numerous studies have identified and quantified similar chemical compounds in the EOs of *S. aromaticum*, revealing that this species exhibits a chemotype akin to the eugenol-rich chemotype. Eugenol has been identified as the major compound (90.3%) in an EO extracted from southern Brazil, alongside β -caryophyllene (4.83%) and eugenyl acetate (1.87%) (SILVESTRI *et al.*, 2018).

In another study focused on the EO of clove from southern Brazil, higher concentrations of eugenol (56.06%) and caryophyllene (39.63%) were observed (RADÜNZ *et al.*, 2019), which are very similar to the quantities found in the present study.

EOs of *S. aromaticum* obtained from China (ZHANG *et al.*, 2017) and Italy (EBANI *et al.*, 2018) also exhibited eugenol as the major compound, at 90.84% and 77.9%, respectively. The amount of eugenol presents in the EO and the

variation among compounds may be directly related to the different geographic regions in which the plant was cultivated, which can be influenced or altered by biotic and abiotic factors such as seasonality, developmental stage, plant age, and climatic conditions (ANDRADE *et al.*, 2017).

Furthermore, the extraction method employed in obtaining the oil can also affect its chemical composition, as distillation conditions and storage can significantly influence the content of its volatile metabolites (BESTEN *et al.*, 2020).

CONCLUSIONS

The present study demonstrated that the EO of *S. aromaticum* exhibits significant antioxidant and anticancer activities *in vitro*. The antioxidant potential was confirmed through ABTS, DPPH, and FRAP assays, with the EO showing strong free radical scavenging capacity, particularly in the ABTS test ($IC_{50} = 0.73$ mg/L), indicating its efficacy as a natural antioxidant agent.

Regarding anticancer activity, the EO displayed potent cytotoxicity against multiple human cancer cell lines, with notable efficacy against colon (502713; $IC_{50} = 6.27$ mg/L), liver (HepG2; $IC_{50} = 6.99$ mg/L), cervical (SiHa; $IC_{50} = 9.06$ mg/L), and neuroblastoma (IMR-32; $IC_{50} = 6.89$ mg/L) cells. These findings align with previous studies highlighting the antitumor effects of *S. aromaticum* EO, primarily attributed to its high eugenol content (71.11%), alongside β -caryophyllene (19.55%) and humulene (3.99%), compounds known for their pro-apoptotic and antiproliferative properties.

Chemical composition analysis via GC-MS revealed a eugenol-rich chemotype, though geographical variations were observed, emphasizing the influence of environmental factors on EO composition. This variability underscores the need for standardized cultivation and extraction protocols to ensure reproducible bioactive profiles.

In conclusion, *S. aromaticum* EO emerges as a promising candidate for complementary therapies targeting oxidative stress-related diseases and cancer. However, further *in vivo* studies and clinical trials are essential to validate its safety, bioavailability, and mechanisms of action. This research reinforces the potential of plant-derived compounds as sustainable alternatives in pharmacology and nutraceuticals, bridging traditional knowledge with evidence-based applications.

Acknowledgments

CNPq, FAPEMA, LOEPAV/UFMA.

REFERENCES

- ABADI, A. V. M. *et al.* Chemical investigation and screening of anti-cancer potential of *Syzygium aromaticum* L. bud (clove) essential oil nanoemulsion. **3 Biotech**, v. 12, p. 49, 2022.
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 5. ed. Texensis Publishing, 2017.
- AHMAD, N. *et al.* Ultrasonication techniques used for the preparation of novel Eugenol-Nanoemulsion in the treatment of wounds healings and anti-inflammatory. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 46, p. 461–473, 2018.
- ALFIKRI, F. N. *et al.* Yield, Quality, and Antioxidant Activity of Clove (*Syzygium aromaticum* L.) Bud Oil at the Different Phenological Stages in Young and Mature Trees. **Scientifica**, v. 2020, p. 9701701, 2020.
- ANDRADE, B. F. M. T. *et al.* Antimicrobial activity of essential oils. **Journal of Essential Oil Research**, v. 26, n. 1, p. 34–40, 2017.
- BAKRY, A. M. *et al.* Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, p. 143–182, 2016.
- BATIHA, G. E.-S. *et al.* *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae): Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities. **Biomolecules**, v. 10, p. 202, 2020.
- BESTEN, M. A. *et al.* Chemical composition similarity between the essential oils isolated from male and female specimens of each five *Baccharis* species. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 23, p. 1041–1047, 2020.
- BEZERRA, D. *et al.* The dual antioxidant/prooxidant effect of eugenol and its action in cancer development and treatment. **Nutrients**, v. 9, p. 1367, 2017.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.
- CHAIKIB, K. *et al.* Antioxidant properties of the essential oil of *Eugenia caryophyllata* and its antifungal activity against a large number of clinical *Candida* species. **Mycoses**, v. 50, p. 403–406, 2007.
- COORDENAÇÃO DE REVISÃO DA FARMACOPEIA BRASILEIRA. **Farmacopeia Brasileira**. 6. ed. v. 1, 2019.
- D'AVILA, F. *et al.* Eugenol derivatives as potential antioxidants: Is phenolic hydroxyl necessary to obtain an effect? **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 66, p. 733–746, 2014.
- DAHAM, S. *et al.* The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene >Caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. **Molecules**, v. 20, p. 11808–11829, 2015.

DAS, A. *et al.* Evaluation of therapeutic potential of eugenol a natural derivative of *Syzygium aromaticum* on Cervical Cancer. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v. 19, p. 1977–1985, 2018.

EBANI, V. V. *et al.* Chemical composition and *in vitro* antimicrobial efficacy of sixteen essential oils against *Escherichia coli* and *Aspergillus fumigatus* isolated from poultry. **Journal of Veterinary Science**, v. 5, n. 3, 2018.

EL ASBAHANI, A. *et al.* Essential oils: From extraction to encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 483, p. 220–243, 2015.

EL-DARIER, S. M. *et al.* An *in vitro* study on antimicrobial and anticancer potentiality of thyme and clove oils. **Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali**, v. 29, p. 131–139, 2018.

FADILAH, F. *et al.* Phenylpropanoids, eugenol scaffold, and its derivatives as anticancer. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 10, p. 41–46, 2017.

GÜLÇİN, I. *et al.* Antioxidant activity of clove oil: A powerful antioxidant source. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 5, p. 489–499, 2012.

HASHEM, A. H. *et al.* Potential Impacts of Clove Essential Oil Nanoemulsion as Bio Fungicides against *Neoscytalidium* Blight Disease of *Carum carvi* L. **Agronomy**, v. 13, p. 1114, 2023.

HU, Y. *et al.* The interaction of temperature and relative humidity affects the main aromatic components in postharvest *Torreya grandis* nuts. **Food Chemistry**, v. 368, p. 130836, 2022.

IDOWU, S. *et al.* Clove (*Syzygium aromaticum*) spices: A review on their bioactivities, current use, and potential application in dairy products. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, p. 3419–3435, 2021.

KAUR, K. *et al.* Chemical composition, antioxidant and antifungal potential of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil, its major compound and its derivatives. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 22, p. 1195–1217, 2019.

MARMOUZI, I. *et al.* Modulatory effect of *Syzygium aromaticum* and *Pelargonium graveolens* on oxidative and sodium nitroprusside stress and inflammation. **Oriental Pharmacy and Experimental Medicine**, v. 19, p. 201–210, 2019.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3396–3402, 2000.

RADÜNZ, M. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum*, L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 276, 2019.

RANI, R.; KUMAR, M. Clove (*Syzygium aromaticum*): Beneficial effects on human health. **Plant Archives**, v. 21, p. 1967–1972, 2021.

RATRI, P. J. *et al.* Clove oil extraction by steam distillation and utilization of clove buds waste as potential candidate for eco-friendly packaging. **Jurnal Bahan Alam Terbarukan**, v. 9, p. 47–54, 2020.

RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231–1237, 1999.

SAMANTA, S. *et al.* Antitumor activity of Nitronaphthal-NU, a novel mixed-function agent. **Journal of Experimental Therapeutics & Oncology**, v. 5, n. 1, 2005.

SHARMA, P. R. *et al.* Anticancer activity of an essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. **Chemico-Biological Interactions**, v. 179, n. 2-3, p. 160–168, 2009.

SINGH, I. *et al.* Essential oils in treatment and management of dental diseases. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v. 12, p. 7267–7286, 2022.

SKEHAN, P. *et al.* New colorimetric cytotoxicity assay for anticancer-drug screening. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 82, n. 13, p. 1107–1112, 1990.

THAPA, D. *et al.* Genoprotective effects of essential oil compounds against oxidative and methylated DNA damage in human colon cancer cells. **Journal of Food Science**, v. 84, p. 1979–1985, 2019.

ZHANG, Y. *et al.* Antibacterial and antibiofilm activities of eugenol from essential oil of *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L. M. Perry (clove) leaf against periodontal pathogen *Porphyromonas gingivalis*. **Microbial Pathogenesis**, v. 113, 2017.

ATIVIDADE ALELOPÁTICA DE EXTRATOS DE ADUBOS VERDES SOBRE A GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE *Bidens pilosa* L., (ASTERACEAE, PICÃO-PRETO)

Rennan Oliveira Meira
Universidade de Brasília (UnB)

Raquel Valmorbida
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Weverton Krein
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Andréa Maria Teixeira Fortes
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

RESUMO

Os efeitos alelopáticos podem ser úteis na busca por fitotoxinas produzidas por plantas que podem ser empregadas como herbicidas naturais, mais específicos e menos danosos ao ambiente. Deste modo o objetivo do trabalho foi avaliar a atividade alelopática dos extratos aquosos dos adubos verdes: feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) sobre a germinação e o desenvolvimento de *B. pilosa* em condições laboratoriais. Extratos aquosos foram obtidos da massa seca das três leguminosas nas proporções 2,5%; 5%; 7,5% e 10% (m/v). Utilizou-se como controle negativo água destilada e controle positivo o herbicida comercial atrazina. Para análise da germinação foram consideradas as variáveis: porcentagem, índice de velocidade, tempo médio, sincronização e frequência da germinação. Para análise do desenvolvimento inicial foi considerado o comprimento médio da raiz e parte aérea. Os extratos aquosos dos adubos verdes não apresentaram efeito direto na germinação, pois esta é menos sensível aos aleloquímicos. Os menores valores de comprimento médio da parte aérea de *B. pilosa* foram na proporção 10% (2,72 cm; 2,39 cm e 2,10 cm), independente do extrato do adubo verde utilizado, conforme o aumento da proporção diminui-se o comprimento médio da raiz, sendo a menor média na proporção 10% com 1,98 cm de raiz. Os extratos aquosos dos adubos verdes apresentaram possíveis efeitos alelopáticos sobre o índice de velocidade e o tempo de germinação, além do desenvolvimento inicial de *B. pilosa* na proporção a 10%.

Palavras-chave: alelopatia; extrato aquoso; planta indesejável; compostos secundários.

INTRODUÇÃO

As plantas produzem e estocam muitos produtos do metabolismo secundário nos seus diversos órgãos (raízes, caules, folhas, flores, frutos e sementes), os quais são posteriormente liberados para o meio ambiente, estes produtos são conhecidos como aleloquímicos (Peres & Malheiros, 2001).

Essas substâncias são metabólitos bioativos (aleloquímicos), solúveis em água, destacando-se as saponinas, os taninos, os alcalóides, os terpenóides e os flavonóides, que são liberadas diretamente no ambiente através de lixiviação, exsudação das raízes e volatilização, bem como pela decomposição de resíduos vegetais (Alves *et al.*, 2004).

Os resíduos vegetais de muitas culturas que formam uma cobertura do solo, durante a decomposição, podem reduzir a emergência e o crescimento de plantas indesejáveis, pela atividade fitotóxica causada pelos aleloquímicos (Kumar *et al.*, 2009). Souza-Filho (2002) considera a alelopatia uma alternativa viável no manejo de plantas indesejáveis, devido a seu excelente potencial de interação e importância ecológica, assim como a possibilidade de fornecer novas estruturas químicas para produção de bioativos que combatam as pragas e sejam menos danosos ao ambiente.

Em campo, normalmente o efeito das coberturas vegetais (adubação verde) sobre a germinação de plantas indesejáveis é evidente, mas em geral há dúvidas sobre a ação, se química, pela ação inibitória de algumas substâncias (alelopatia), ou se física, pela ação competitiva proporcionada pela grande quantidade de fitomassa produzida (alelospolia/competição), ou ainda se ocorre interação entre estes efeitos (Erasmus *et al.*, 2004; Reginatto *et al.*, 2008).

Algumas espécies de adubos verdes leguminosas, como a mucuna verde (*Mucuna pruriens* (L.) DC. Var. *pruriens*) e mucuna anã (*Mucuna deeringiana* (Bort) Merr.) e o feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), possuem uma elevada taxa de cobertura do solo e produção de fitomassa. Além disso, apresentam alta capacidade de fixar nitrogênio (Busnello *et al.*, 2008; Cerutti *et al.*, 2008; Kolling *et al.*, 2008), características que permitem que estas espécies possam ser utilizadas como adubos verdes, em consorciação, ou em rotações entre culturas. Entretanto, alguns estudos mostram que estas leguminosas possuem potencialidades alelopáticas e que tanto a parte aérea como as raízes

podem ser fontes de substâncias químicas com atividades alelopáticas (Faria *et al.*, 2009; Vargas *et al.*, 2012), contudo se faz necessários mais estudos, além de investigar esses efeitos sobre espécies indesejáveis, principalmente aquelas que apresentam resistência aos herbicidas utilizados no mercado.

A utilização em larga escala de agrotóxicos tem trazido uma série de problemas ambientais, com impactos significativos na biota e riscos ao homem (Peres & Moreira, 2007). A solução para o país está na conversão do modelo agroquímico para um modelo de base agroecológica (Carneiro & Almeida, 2010). Assim, demanda por produtos orgânicos vem aumentando nos últimos anos em resposta aos danos provocados à saúde humana pelo uso de herbicidas (Copping & Duke, 2007).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade alelopática dos extratos aquosos dos adubos verdes: feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) sobre a germinação e o desenvolvimento inicial da espécie indesejável *Bidens pilosa* L. (picão-preto), visando encontrar alternativas para o controle dessa invasora no sistema de produção orgânica, fator determinante para utilização em sistemas agroecológicos.

METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em julho de 2015, no Laboratório de Fisiologia Vegetal, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, *campus* de Cascavel, PR.

Para obtenção da biomassa os adubos verdes: feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC) foram plantadas em outubro de 2014, em área rural do município de Capanema-PR (-25.668184 Sul, -53.729575 Oeste), que pertence ao Terceiro Planalto Paranaense, com solo do tipo Nitossolo Vermelho Distrófico (Bhering *et al.*, 2008), na Classificação de Köppen (1948) o clima é do tipo Cfa temperado.

A parte aérea dos adubos verdes foi colhida em fevereiro de 2015, quando as espécies estavam no período de pré-floração, foram secas em estufa com ventilação forçada de ar à temperatura de 38 ± 2 °C até obter-se a massa seca estável.

Após este processo, a matéria seca foi triturada em moinho de facas do tipo Willey, com peneira de granulação de 10 mm, para a obtenção do pó, no qual foi armazenado em potes de vidro, envoltos por papel alumínio, ao abrigo da luz e devidamente identificados, mantidos em local seco a temperatura ambiente, até a preparação dos extratos.

O efeito dos extratos aquosos provenientes da parte aérea dos adubos verdes foi testado em sementes da espécie indesejável *Bidens pilosa* L., (Asteraceae, picão-preto), coletadas manualmente em área agrícola no município de Cascavel - PR, entre os meses de fevereiro e março de 2015.

PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS

Os extratos aquosos dos adubos verdes foram obtidos a partir da mistura do pó em água destilada, nas proporções de 25; 50; 75 e 100 g de pó em 1000 mL de água destilada, relação massa/volume (g/mL), de cada adubo verde. As misturas foram homogeneizadas por cerca de 1 minuto, e em seguida permaneceram em repouso por 24 horas à temperatura ambiente, em local escuro (evitando a fotodegradação), adaptado de Gatti *et al.* (2010). Posteriormente os extratos foram filtrados em pano de algodão, obtendo – se os extratos nas proporções de 2,5; 5; 7,5 e 10% (m/v), utilizou-se água destilada como controle negativo (0%) (Porto *et al.*, 2023).

Para evidenciar e comparar a atividade dos extratos, utilizou-se como controle positivo o herbicida comercial Atrazina 500 g/L (50% m/v) com atividade conhecida, apresentado sob a forma de suspensão concentrada com eficiência no controle da maioria das plantas indesejáveis, anuais, tanto em aplicação de pré-emergência como em pós-emergência precoce (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). A solução foi preparada a partir da recomendação de uso, expressa em quilogramas de ingrediente ativo por hectare (4kg.i.a.ha-1).

Após a preparação dos extratos foram medidos o potencial hidrogeniônico (pH) de todas as proporções com pHmetro Micronal B474, e realizado a determinação do potencial osmótico de acordo com Villela e colaboradores (1991), utilizando concentrações conhecidas de Polietileno glicol 6000 (PEG 6000), foram determinados seus valores de °Brix de refração em Refratômetro de bancada, e partir destas leituras foi ajustada uma curva de regressão que

possibilitou estimar o potencial osmótico das proporções dos adubos verdes a partir de seus valores de °Brix, conforme Daneluzzi *et al.* (2014).

Foi realizada também a prospecção química ou screening fitoquímico, com base em Matos (1998) e Carvalho *et al.* (2006), para alcaloides, cumarinas, esteroides, flavonoides, fenóis, triterpenóides, saponinas espumídicas e taninos, onde os extratos aquosos, em sua maior proporção (10% m/v), foram submetidos à prospecção fitoquímica, por meio de ensaios colorimétricos e/ou precipitação, as quais tiveram caráter qualitativo.

BIOENSAIOS DE GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO INICIAL

Os testes foram realizados sobre sementes de *B. pilosa* em placas de Petri de 9 cm de diâmetro, forradas com duas folhas de papel filtro, que foram previamente autoclavadas a 121 °C por meia hora (Ferreira *et al.*, 2007). A quantidade dos extratos, herbicida e água destilada foi colocada na proporção de duas vezes e meia a massa do papel filtro, totalizando 3mL por placa de Petri (Brasil, 2009). As soluções foram adicionadas apenas uma vez, no início do bioensaio, sendo, a partir de então, adicionada apenas água destilada, quando se fez necessário.

Os experimentos foram conduzidos com quatro repetições de 25 sementes por placa de Petri, que foram mantidas em câmara de germinação (BOD) a 25±2 °C com fotoperíodo de 12 horas (claro/escuro), como descrito por Mendonça e colaboradores (2024).

As avaliações foram diárias, iniciando-se no dia seguinte a semeadura, sendo considerada como semente germinada aquela que apresentou no mínimo 2 mm de raiz (Hadas, 1976), até estabilização da germinação, totalizando oito dias após a semeadura. Posteriormente, foram avaliadas as seguintes variáveis: porcentagem de germinação (PG) (Brasil, 2009), índice de velocidade de germinação (IVG) conforme Maguire (1962), tempo médio de germinação (TMG) segundo Edmond e Drapala (1958), frequência relativa e o índice de sincronização da germinação (U) foram calculados de acordo com Labouriau (1983).

Para análise do desenvolvimento inicial, foi verificado o comprimento médio de raiz (CMR) e comprimento médio de parte aérea (CMPA) de dez

plântulas por repetição no último dia de avaliação (no oitavo dia de avaliação), as medições foram realizadas com régua graduada (precisão de 1,0 mm).

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x4 + 2 controles, sendo que um dos fatores foi constituído pelas espécies de adubos verdes, em três níveis (feijão caupi, feijão guandu, feijão de porco) e o outro fator pelas quatro proporções (2,5%; 5%; 7,5% e 10%) e os controles, positivo (herbicida) e negativo (0% - água destilada), sendo assim, compostos por 14 tratamentos com quatro repetições cada.

As variáveis foram testadas quanto à normalidade dos dados pelo teste de shapiro-wilk, e a homocedasticidade das variâncias pelo teste de levene. Os dados de porcentagem de germinação foram transformados em *arc sen* para a análise estatística. Além disso, foi realizada a análise de variância (anova), e quando significativa, os tratamentos foram comparados com cada controle pelo teste dunnett e as médias foram agrupadas pelo teste scott-knott no fatorial.

Todos os testes de hipóteses foram realizados com 5% de significância e todas as análises estatísticas foram geradas pelo pacote expdes (Ferreira *et al.*, 2011) pelo software livre r 3.2.0.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores do pH e do potencial osmótico dos extratos dos adubos verdes nas proporções (0%; 2,5%; 5%; 7,5% e 10%) variaram de 5,67 a 7 para o pH, e de -0,003 a -0,021 MPa para o potencial osmótico, por serem valores relativamente baixos, estes não provocaram interferência na germinação de *B. pilosa* (Tabela 1).

O pH obtido para os extratos aquosos dos adubos verdes em questão (Tabela 1) se manteve dentro dos limites tolerados, por serem valores próximos a neutralidade, na qual, provavelmente não interferiram na germinação e desenvolvimento de *B. pilosa*. Quanto ao pH, em casos extremos, seja ele ácido ou alcalino, podem afetar tanto a germinação como o crescimento das plântulas, observados em condições de pH abaixo de 4 e superior a 10, conforme descrito por Eberlein (1987).

Para os potenciais osmóticos observados (Tabela 1) os valores dos extratos ficaram entre -0,003 e -0,021 MPa, ou seja, valores normais, como em outros trabalhos que corroboram os resultados, evidenciando que apenas potenciais osmóticos extremos, ou seja, maiores que -0,5 MPa, podem influenciar a germinação e crescimento de algumas espécies vegetais (Sodaeizadeh *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010) e este valor pode ser variável entre as espécies.

Segundo Gatti e colaboradores (2004), recomenda-se que o potencial osmótico de extratos envolvendo testes de germinação não ultrapasse valores -0,2 MPa para trabalhos com alelopatia, o que de fato ocorreu com os extratos aquosos dos adubos verdes testados (Tabela 1). Entretanto, o potencial osmótico da Atrazina (controle positivo) superou esse valor, ficando em -0,7 MPa, que revelou não afetar a germinação de *B. pilosa*. Conforme Reddy e Singh (1992) relataram que a germinação de *B. pilosa* diminui linearmente com o aumento do potencial osmótico de tal modo que a -0,75 MPa a germinação foi reduzida em relação à testemunha.

O potencial osmótico de uma solução é um dos parâmetros que podem provocar alterações na resposta alelopática, pois pode superestimar os efeitos alelopáticos, em determinados casos, ou ainda, admitir a existência de alelopatia em casos em que não exista (Souza Filho *et al.*, 2010), porém, isso provavelmente não ocorreu no presente trabalho.

Tabela 1. Valores de pH e potencial osmótico dos extratos aquosos dos adubos verdes nas proporções 2,5%; 5%; 7,5% e 10% e nos controles positivo (atrazina) e negativo (0% - água destilada).

		pH	Potencial osmótico (Mpa)
Feijão caupi	Atrazina (+)	6,68	-0,7
	0% (-)	7	-0,003
	2,5%	6,08	-0,005
	5%	6,11	-0,006
	7,5%	6,16	-0,012
	10%	6,14	-0,020
Feijão guandu	Atrazina (+)	6,68	-0,7
	0% (-)	7	-0,003
	2,5%	5,67	-0,006
	5%	5,69	-0,005
	7,5%	5,74	-0,005
	10%	5,79	-0,007

		pH	Potencial osmótico (Mpa)
Feijão de porco	Atrazina (+)	6,68	-0,7
	0% (-)	7	-0,003
	2,5%	6,68	-0,005
	5%	6,67	-0,007
	7,5%	6,74	-0,014
	10%	6,73	-0,021

Fonte: Os autores (2025).

Tratando da análise fitoquímica ou screening fitoquímico dos extratos aquosos dos adubos verdes, foi obtido resultado positivo para saponinas, apenas para o extrato aquoso de feijão caupi, já a presença de triterpenóides pentacíclicos foi verificada apenas para o extrato aquoso de feijão de porco. Os compostos flavonoides e taninos estiveram presentes para os extratos aquosos dos três adubos verdes (feijão caupi, feijão guandu e feijão de porco). Para os demais compostos analisados, como: alcaloides, cumarinas e fenóis, estes não estavam presentes screening fitoquímico dos extratos em estudo (Tabela 2).

Estudos fitoquímicos têm mostrado que a feijão de porco é fonte de diferentes classes de compostos provenientes de metabolismo secundário como cianoglicosídeos, flavonóides, alcalóides, taninos e terpenóides tais como as saponinas que são terpenóides glicosados que estão diretamente ligados a efeitos alelopáticos (Santos, 2004), alguns destes compostos também estiveram presentes nos extratos (Tabela 2).

Tabela 2. Screening fitoquímico dos extratos aquosos dos adubos verdes.

Composto	Adubos Verdes		
	Feijão caupi	Feijão guandu	Feijão de porco
Saponina	+	--	--
Triterpenódes pentacíclicos	--	--	+
Esteróides livres	--	--	--
Flavonóides (flavonas/xantonas)	+	+	+
Cumarinas	--	--	--
Taninos	+	+	+
Fenóis	--	--	--
Alcalóides	--	--	--

+ presença do composto; -- ausência do composto.

Fonte: Os autores (2025).

Não houve interação significativa para as variáveis de porcentagem de germinação (PG) e sincronização da germinação (U) das sementes de *B. pilosa* entre os fatores: adubos verdes e proporções. Essa interação foi verificada apenas para o índice de velocidade de germinação (IVG) e no tempo médio de germinação (TMG), conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG) e índice de sincronização da germinação (U) de *B. Pilosa*, submetidas aos extratos aquosos dos adubos verdes.

Proporções	Adubos verdes			Média
	Feijão caupi	Feijão guandu	Feijão de porco	
	Porcentagem de germinação (PG) ns			
Atrazina (+)	93±9			
0% (-)	100±0			
2,5%	100±0	100±0	100±0	100 a
5%	94±5	97±6	100±0	97 b
7,5%	98±4	96±3	100±0	98 b
10%	96±03	83±12 -	96±3	92 c
Média	97 B	94 B	99 A	
C.V	4,95%			
	Índice de velocidade de germinação (IVG)			
Atrazina (+)	4,34±0,50			
0% (-)	7,91±0,37			
2,5%	5,76±0,48 Ba + -	7,22±0,30 Aa +	6,33±0,32 Ba + -	6,43
5%	5,17±0,45 Ab -	5,30±0,69 Ab + -	5,28±0,38 Ab + -	5,25
7,5%	4,71±0,37 Ab -	4,80±0,52 Ab -	4,23±0,17 Ac -	4,58
10%	3,70±0,08 Ac -	3,26±0,73 Ac + -	3,59±0,13 Ad -	3,51
Média	4,83	5,14	4,85	
C.V	8,75%			
	Tempo médio de germinação (TMG)			
Atrazina (+)	5,58±0,24			
0% (-)	3,37±0,10			
2,5%	4,52±0,41 Ac + -	3,53±0,14 Bc +	4,06±0,23 Ad + -	4,03
5%	4,64±0,20 Ac + -	4,74±0,53 Ab + -	4,83±0,36 Ac + -	4,73
7,5%	5,34±0,19 Bb -	5,05±0,37 Bb -	5,96±0,26 Ab -	5,44
10%	6,61±0,26 Aa + -	6,56±0,49 Aa + -	6,77±0,43 Aa + -	6,65
Média	5,27	4,97	5,40	
C.V	7,13%			

	Sincronização (U) ns			Média
Atrazina (+)	1,88±0,36			
0% (-)	1,52±0,11			
2,5%	1,44±0,47	0,95±0,03 +	0,78±0,42 + -	1,05 b
5%	1,33±0,26	1,36±0,40	1,24±0,18	1,31 b
7,5%	1,49±0,39	1,59±0,52	0,95±0,28 +	1,34 b
10%	1,69±0,19	1,67±0,21	1,49±0,14	1,62 a
Média	1,48 A	1,39 A	1,11 B	
C.V	24,50%			

Fonte: Os autores (2025).

Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Sinal positivo (+) e sinal negativo (-) na coluna diferem estatisticamente dos controles positivo (atrazina) e negativo (0% - água destilada), pelo teste Dunnett a 5% de significância. ns - não significativo. CV: Coeficiente de variação.

A porcentagem de germinação de *B. pilosa* não diferiu estatisticamente pela ação dos extratos dos adubos verdes testados, pois todos os tratamentos apresentaram germinação acima de 80%, inclusive os controles, positivo (Atrazina) e negativo (0% - água destilada). No entanto, com extrato aquoso de feijão guandu 10%, verificou-se diferença quando comparado ao controle negativo, apresentando 83% de sementes germinadas de *B. pilosa*. Já os demais tratamentos testados, não diferiram dos controles, positivo e negativo, pelo teste Dunnett (Tabela 3).

Essa alta taxa de germinação, principalmente no controle positivo, pode ter ocorrido possivelmente devido à resistência de *B. pilosa* ao herbicida, como também foi confirmado no trabalho de Guerra *et al.* (2011). Até o momento as pesquisas relatam que o local de ação deste herbicida é a membrana do cloroplasto, onde ocorre a fase luminosa da fotossíntese, mais especificamente o transporte de elétrons. Uma planta é suscetível à atrazina, se o herbicida se acopla ao composto Quinona b (proteína do fotossistema II) e, assim, impossibilita o transporte de elétrons até a plastoquinona. Desta forma, não ocorre à produção de ATP e NADPH₂, pois a transferência de elétrons é interrompida (Oliveira Jr *et al.*, 2011). No entanto, não há relatos quanto a ação desse herbicida

no processo de germinação, porém neste experimento não observamos uma interferência na germinação de *B. pilosa* exercida por essa substância.

Por outro lado, com a utilização dos extratos dos adubos verdes é possível observar uma redução da média geral da germinação conforme o aumento da proporção dos extratos, na qual a proporção de 10% apresentou em média 92% de sementes germinadas de *B. pilosa*. Segundo Harper & Balke (1981), o grau de inibição proporcionado por determinado aleloquímico é dependente da sua concentração, o que pode ter ocorrido neste caso.

No entanto, a proporção de 2,5% obteve-se germinação máxima (100%), e as proporções 5% e 7,5% não apresentaram diferença estatística, com 97% e 98% de sementes germinadas, respectivamente. O extrato aquoso de feijão de porco apresentou média geral com maior geminabilidade (99%), diferindo dos extratos dos outros dois adubos verdes, que apresentaram 97% e 94% de germinação com extrato de feijão caupi e feijão guandu, respectivamente os quais não diferiram entre si (Tabela 3). Carvalho *et al.* (2014) trabalhando também com extratos aquoso de feijão guandu e feijão de porco sobre sementes de alface, espécie bioindicadora, também verificaram valores altos de germinação para esses extratos nas proporções 2,5%; 5%.

Com isso, mesmo que verificando a presença de taninos e flavonoides para os extratos dos adubos verdes (Tabela 2), que são considerados inibidores de germinação e podem bloquear o metabolismo preparatório para a germinação ou impedir as trocas gasosas, como também podem inibir a atividade de fitormônios e o alongamento celular (Marcos-Filho, 2015), estes aleloquímicos provavelmente estiveram em quantidades muito baixas, não afetando a germinação, apenas atrasando o tempo de germinação de sementes de *B. pilosa* (Tabela 3).

Dentre os estádios do desenvolvimento vegetal influenciados pelos aleloquímicos, a germinação é a menos sensível, conforme visto na tabela 3, ao passo que a sua quantificação experimental é muito mais simples, pois a semente germina ou não germina (Ferreira & Áquila, 2000).

Contudo, conforme Ferreira (2004) e Borges *et al.* (2007) muitas vezes o efeito alelopático não se manifesta somente sobre a porcentagem final de germinação, mas também sobre a velocidade de germinação dos diásporos ou sobre outro parâmetro do processo germinativo, como ocorreu no presente trabalho com os parâmetros IVG e TMG (Tabela 3).

Para o índice de velocidade de germinação (IVG) de *B. pilosa*, observa-se o maior valor para o tratamento com o extrato de feijão guandu 2,5% com IVG de 7,22, apenas este se aproxima do controle negativo. Para os extratos de feijão caupi e o feijão de porco na proporção 2,5%, não houve diferença estatística, porém ambos diferem dos controles, positivo e negativo, com valores de IVG 5,76 para o extrato de feijão caupi e 6,33 para o extrato de feijão de porco (Tabela 3).

Conforme o aumento da proporção, independente do adubo verde utilizado, verifica-se uma redução do IVG (Tabela 3). No entanto, nos tratamentos com extratos de feijão caupi e feijão guandu a 5% e 7,5%, como também feijão de porco a 5%, não apresentaram diferença significativa entre si, apenas diferindo dos controles, positivo e negativo. Segundo Ferreira & Borghetti (2004), quanto maior o IVG, maior o vigor das sementes, sendo que neste experimento os extratos atuaram diminuindo o vigor das sementes de *B. pilosa*, principalmente nas maiores proporções (7,5% e 10%).

Os extratos de feijão caupi, feijão guandu a 10% e o feijão de porco a 7,5% também não apresentaram diferença entre si, apenas diferiram do controle negativo, contudo, o extrato de feijão guandu a 10% também diferiu do controle positivo, com IVG de 3,26, sendo o menor valor de IVG observado com esse extrato. Para o extrato de feijão de porco, o menor valor de IVG foi de 3,59 na proporção a 10%, diferindo apenas do controle negativo, pelo teste Dunnett (tabela 3).

Corroborando com esses resultados, Carvalho *et al.* (2014) trabalhando com extrato aquoso de feijão guandu e feijão de porco, também verificaram atraso do processo germinativo sobre sementes de alface, conforme o aumento da proporção dos extratos os valores de IVG foram diminuindo, isso foi verificado também principalmente com extrato aquoso de feijão de porco (Tabela 3).

No tempo médio de germinação (TMG), observa-se que as sementes de *B. pilosa* levaram mais tempo para germinar conforme o aumento da proporção dos extratos. Os extratos na proporção a 10% levaram em média seis dias e meio para germinar, independente da espécie de adubo verde utilizado, além disso, também diferiram dos controles positivo e negativo. Já o menor valor de TMG foi observado com o extrato de feijão guandu a 2,5% com valor de 3,53, esse diferindo apenas do controle positivo (Tabela 3).

Na proporção 5% não houve diferença entre os adubos verdes utilizados e eles diferiram, tanto do controle positivo, quanto do controle negativo. Já na

proporção 7,5% a maior média de TMG foi observada com o extrato de feijão de porco (5,96), para os extratos de feijão caupi e feijão guandu o valor do TMG foi um pouco menor (5,34 e 5,05, respectivamente) e não diferiram entre si, os extratos desses adubos verdes a 7,5% diferiram apenas do controle negativo segundo o teste Dunnett (Tabela 3).

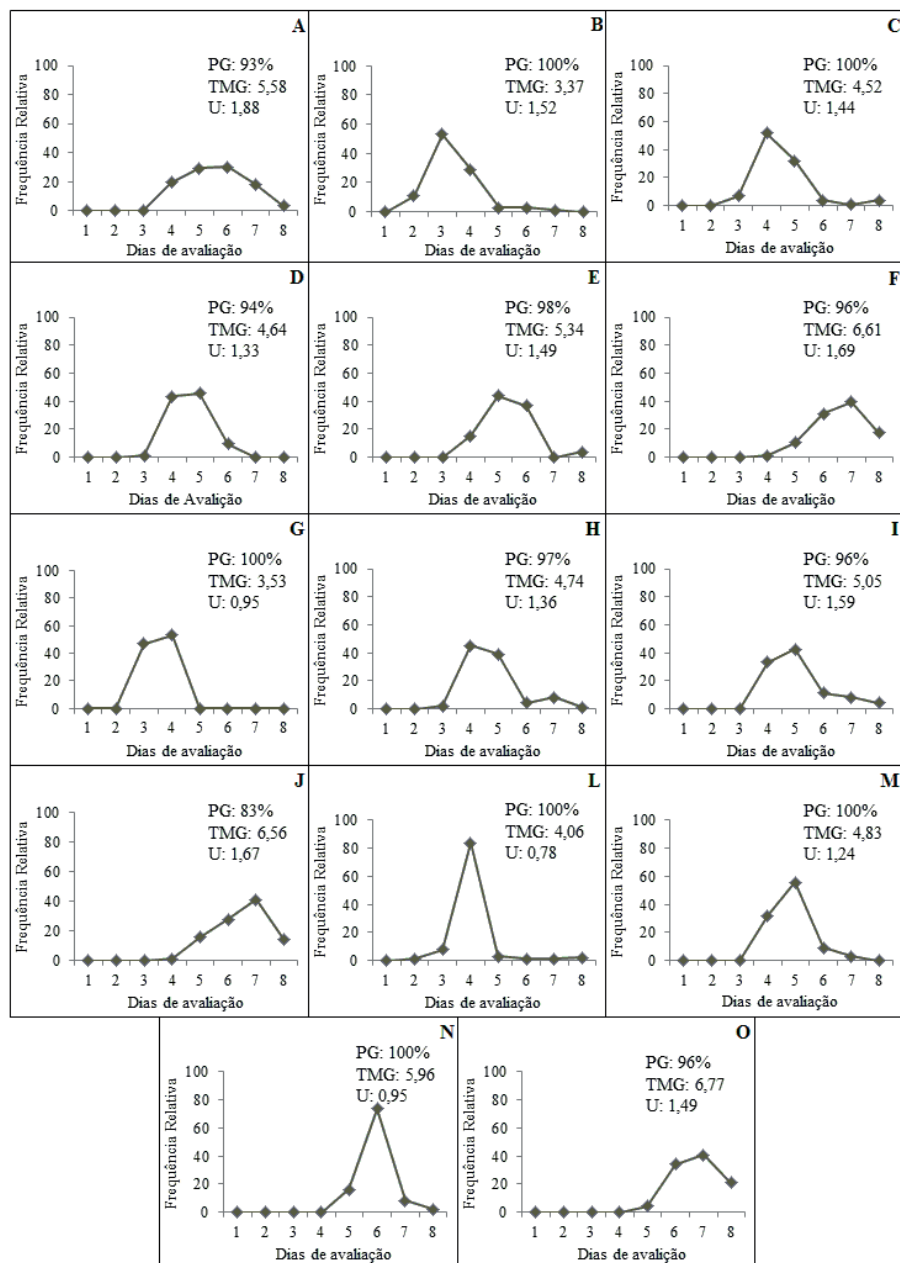
Aplicando extrato de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) sobre sementes de *B. pilosa*, Rickli *et al.* (2011) verificaram que o tempo médio de germinação também foi influenciado significativamente pelo extrato bruto (100%). Gomes *et al.* (2013) em todas as concentrações com extrato aquoso de *Lupinus angustifolius* o parâmetro tempo médio de germinação aumentou em uma relação dose-dependente positiva, ou seja, quanto maior a concentração do extrato maior o tempo necessário para a germinação da semente de *B. pilosa*, com também observado nesse trabalho com os extratos aquoso dos adubos verdes testado.

Pode-se observar que a média geral do índice de sincronização da germinação de *B. pilosa* foi maior para os extratos com feijão caupi (1,48) e feijão guandu (1,39), não diferindo estatisticamente, já o menor valor foi observado para os extratos com feijão de porco (1,11). A proporção de 10% apresentou o maior valor de sincronização (1,62), já as demais proporções não diferiram entre si (Tabela 3).

Os menores índices de sincronização da germinação de *B. pilosa* foram observados nos tratamentos com os extratos de feijão de porco 2,5% com 0,78, diferindo também dos controles positivo e negativo, na proporção 7,5% com 0,95, diferindo somente do controle positivo. O extrato do feijão guandu 2,5% também apresentou valor de 0,95, diferindo do controle positivo (Tabela 3). No presente trabalho, esses valores mostram uma maior sincronização da germinação nesses tratamentos, conforme (Santana & Ranal, 2004), confirmando a distribuição unimodal da frequência relativa da germinação, já nos demais tratamentos não se observou essa distribuição, apenas a distribuição da germinação espaçada ao longo do tempo conforme o aumento da proporção dos extratos (Figura 1).

Os efeitos dos aleloquímicos mais comumente observados são o atraso no tempo de germinação, atrofia e espessamento da raiz, redução do crescimento ou ausência da raiz primária, redução do número de raízes secundárias e redução do comprimento do hipocótilo (Gatti *et al.*, 2010; Gusman *et al.*, 2011; Grisi *et al.*, 2012; Silvestre *et al.*, 2013), como observado no trabalho (Tabela 2 e Tabela 3).

Figura 1. Gráficos da Frequência relativa da germinação de *B. pilosa* (picão preto) submetidas aos extratos aquosos dos adubos verdes e aos controles. A) Controle positivo; B) Controle negativo; Feijão caupi: C) 2,5%; D) 5%; E) 7,5%; F) 10%; Feijão guandu: G) 2,5%; H) 5%; I) 7,5%; J) 10%; Feijão de porco: L) 2,5%; M) 5%; N) 7,5%; O) 10%.



Fonte: Os autores (2025).

Quando se verificou a influência dos extratos aquosos dos adubos verdes no desenvolvimento inicial de *B. pilosa*, foi observada a interação dos fatores apenas para o comprimento médio da parte aérea (CMPA), na qual à medida que aumenta a proporção, o comprimento médio da parte aérea vai sendo reduzido.

A fase de desenvolvimento inicial é mais sensível aos aleloquímicos do que a germinação, podendo surgir plântulas anormais, necroses radiculares ou alterações no crescimento (Ferreira; Borghetti, 2004).

Observam-se os menores valores de comprimento médio da parte área de *B. pilosa*, na proporção 10% (2,72 cm; 2,39 cm e 2,10 cm), independente do extrato do adubo verde utilizado, esses tratamentos diferem do controle negativo (Tabela 5). Carvalho e colaboradores (2014), trabalhando com extrato aquoso de feijão de porco 10%, também apresentou redução sobre comprimento do hipocótilo de sementes de alface.

Os extratos de feijão guandu e feijão de porco nas proporções 2,5% e 5%, como também o extrato de feijão caupi 5% (3,95 cm), apresentaram os maiores valores de comprimento médio da parte área de *B. pilosa*, variando de 3,58 cm até 3,95 cm, não diferindo estatisticamente entre si, mas diferindo dos controles positivo e negativo pelo teste Dunnett, no entanto, apenas o extrato de feijão caupi 5% não diferiu do controle negativo (Tabela 5). Extratos de feijão guandu e feijão de porco nas menores concentrações estudados por Carvalho *et al.* (2014), apresentaram estímulo de 1,25 cm do comprimento da parte área em relação a testemunha em sementes de alface, divergindo com os resultados obtidos neste estudo.

No comprimento médio da raiz (CMR) de *B. pilosa*, o extrato do adubo verde que apresentou a maior média foi o extrato de feijão caupi com 3,56 cm de raiz, já os extratos com feijão guandu e feijão e feijão de porco não diferiram estatisticamente (Tabela 5).

Tabela 5. Comprimento médio de parte aérea (CMPA) e raiz (CMR) de *B. Pilosa* submetida aos extratos aquosos dos adubos verdes.

Proporções	Adubos verdes			Média
	Feijão caupi	Feijão guandu	Feijão de porco	
CMPA (cm)				
Atrazina (+)	2,02±0,11			
0% (-)	4,63±0,27			
2,5%	3,23±0,33 Bb + -	3,70±0,95 Aa + -	3,88±0,62 Aa + -	3,60
5%	3,95±0,31 Aa +	3,58±0,21 Aa + -	3,66±0,24 Aa + -	3,73
7,5%	3,38±0,37 Ab + -	3,04±0,35 Ab + -	2,65±0,24 Bb -	3,02
10%	2,72±0,51 Ac -	2,34±0,51 Ac -	2,10±0,11 Ac -	2,39
Média	3,32	3,16	3,07	
C.V	11,42%			
CMR (cm) ns				Média
Atrazina (+)	2,19±0,22			
0% (-)	4,04±0,59			
2,5%	4,31±0,55 +	3,93±0,55 +	4,14±0,35 +	4,13 a
5%	3,87±0,33 +	3,64±0,45 +	3,13±0,31 + -	3,54 b
7,5%	3,52±0,21 +	2,23±0,72 -	2,16±0,17 -	2,63 c
10%	2,53±0,23 -	1,90±0,44 -	1,51±0,25 -	1,98 d
Média	3,56 A	2,93 B	2,73 B	
C.V	13,53%			

Fonte: Os autores (2025).

Médias dos tratamentos seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Sinal positivo (+) e sinal negativo (-) na coluna diferem estatisticamente dos controles, positivo (atrazina) e negativo (0% - água destilada), pelo teste Dunnett a 5% de significância. ns - não significativo. CV: Coeficiente de variação.

Nas proporções utilizadas é possível observar que conforme o aumento da proporção diminui-se o comprimento médio da raiz, sendo a maior média representada na proporção 2,5% com 4,13 cm de raiz, e a menor média na proporção 10% com 1,98 cm de raiz. Carvalho e colaboradores (2014) também verificaram redução do comprimento médio da raiz de alface, com o extrato de feijão de porco em sua maior concentração, corroborando com o trabalho. Souza Filho (2002) avaliando extratos hidroalcoólicos de sementes e de raízes

de feijão de porco observou que estes reduziram o tamanho da radícula de plantas indesejáveis.

Os extratos de feijão caupi, feijão guandu e feijão de porco na proporção 10% diferiram estatisticamente do controle negativo, que teve a média de 4,04 cm, assim como os extratos de feijão guandu e feijão de porco com proporção de 7,5%. Já os extratos de feijão caupi nas proporções 2,5%; 5% e 7,5%, feijão guandu 2,5% e 5% como também feijão de porco 2,5% diferiram do controle positivo que apresentou média de 2,19 cm de comprimento médio de raiz, apenas o extrato de feijão de porco 5%, com 3,13 cm de comprimento médio de raiz, diferiu dos controles positivo e negativo (Tabela 5).

Essa redução do comprimento das plântulas na presença de aleloquímicos é associada com uma forte inibição da mitose e/ou rompimento da estrutura das organelas, como, por exemplo, núcleo e mitocôndrias (Gniazdowska & Bogatek, 2005). Segundo Rodrigues *et al.* (1992), os compostos alelopáticos são inibidores do crescimento, pois interferem na divisão celular, permeabilidade de membranas e na ativação de enzimas. A redução do comprimento médio foi observada, tanto da parte aérea quanto da raiz, que podem ter ocorrido pela ação dos aleloquímicos presentes (Tabela 2), conforme o aumento da proporção essa redução foi mais acentuada.

Taiz & Zeiger (2013) descreveram a importante ação dos taninos, os quais foram identificados nos extratos aquosos dos adubos verdes (Tabela 2), como substâncias inibidoras da germinação de sementes e do crescimento de plantas, destacando-se principalmente na função fitopatogênica.

De acordo com os autores anteriormente citados, os flavonoides podem apresentar ação potencialmente alelopática, contudo, seus efeitos toxicológicos variam de acordo com sua solubilidade em água. Essas substâncias podem inibir o crescimento das plântulas da própria espécie (autotoxicidade), alguns de seus derivados são tóxicos à outras plantas (heterotoxicidade), sendo estes os aleloquímicos que apresentam maior atividade biológica. Os flavonoides foram presenciados nos extratos aquosos dos adubos verdes em estudo (Tabela 2).

Considerando o objetivo proposto pelo trabalho de encontrar alternativas para o controle da espécie invasora *B. pilosa* com extratos aquosos de adubos verdes (feijão caupi, feijão guandu e feijão de porco), esses não apresentaram efeito sobre a germinação em si, mas os efeitos alelopáticos puderam ser

observados em outras variáveis como índice de velocidade de germinação (IVG), reduzindo o número de sementes por dia e no tempo médio de germinação (TMG), atrasando a germinação dessas sementes, conforme o aumento da proporção dos extratos. Isso pode ter ocorrido devido à presença dos aleloquímicos (Tabela 2), que possivelmente atuaram nas enzimas que realizam a degradação de reservas das sementes da planta indesejável em estudo, reduzindo o número de sementes germinadas ao longo do tempo, como observado na frequência relativa da germinação, a qual apresentou picos polimodais (Figura 1).

Além disso, os efeitos foram evidenciados principalmente sobre o desenvolvimento inicial de *B. pilosa*. Os extratos aquosos dos adubos verdes na proporção 10% apresentaram os menores valores nas variáveis estudadas, afetando diretamente o comprimento da parte aérea e o comprimento do sistema radicular das plântulas de *B. pilosa*. Segundo Jacobi & Ferreira (1991), a inibição do crescimento da plântula após a germinação, sob o ponto de vista ecológico é um mecanismo mais eficiente, porque a descendência seria eliminada por morte dos indivíduos, desaparecendo o DNA competidor, ou, em casos menos severos, por um retardamento do crescimento ou de germinação, pois se o desenvolvimento da espécie indesejável é prejudicado, a cultura desejada não é afetada podendo estabelecer sua prole, evitando assim a competição. Isto vem salientar a importância dos promissores resultados obtidos com os extratos aquosos dos adubos verdes, pois este foi eficiente no atraso da germinação como no desenvolvimento e/ou crescimento das plântulas da espécie indesejável *B. pilosa*.

CONCLUSÃO

Os resultados encontrados permitiram concluir que, em condições de laboratório, extratos aquosos dos adubos verdes apresentaram possíveis efeitos alelopáticos sobre o índice de velocidade e o tempo de germinação, além do desenvolvimento inicial de *Bidens pilosa* L. (picão-preto) em sua maior proporção, sendo possível a sua utilização como alternativa no controle da planta indesejável. Contudo, são necessários testes em campo e para o isolamento de compostos ativos que pode ser usado para a produção de herbicidas naturais no futuro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; INNECO, R.; TORRES, S. B. Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p. 1083-1086, 2004.
- BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C da S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR, 2008. 74p.
- BORGES, F.C.; SANTOS, L.S.; CORRÊA, M.J.C.; OLIVEIRA, M.N.; SOUZA FILHO, A.P.S. Potencial alelopático de duas neolignanas isoladas de folhas de *Virola surinamensis* (Myristicaceae). **Planta Daninha**, v.25, p.51-59, 2007.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília, Mapa/ACS, 2009. 399p.
- BUSNELLO, F. J.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; SCHRÄGLE, E. G.; MATTIAS, J. L.; DENARDIN, R. B. N.; WILDNER, L. Decomposição da fitomassa das espécies mucuna verde, mucuna rajada e mucuna cinza. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, XXVIII, 2008, Londrina. Anais. Londrina:SBCS, 2008. CD-ROM.
- CARVALHO, J. L. S.; CUNICO, M. M.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G.1. Screening fitoquímico do *Nasturtium officinale* R. Br.: controle de qualidade. **Visão Acadêmica**, v.7, p.25-32, 2006.
- CARVALHO, W. P., de CARVALHO, G. J., NETO, D. D. O. A., & TEIXEIRA, L. G. V. Alelopatia de extratos de adubos verdes sobre a germinação e crescimento inicial de alface. **Bioscience Journal**, v. 30, p.1-11, 2014.
- CERUTTI, T. R.; CELLA, C.; CAGOL, M.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. DO P.; DENARDIN, R. B. N.; KOLLING, D.; SORDI, A. Curva de crescimento, acúmulo de fitomassa e nitrogênio pelo feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.). In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, XXVIII, 2008, Londrina.
- COPPING, L.G.; DUKE, S.O. Natural products that have been used commercially as crop protection agents. **Pest Management Sciences**, v.63, p.524-554, 2007.
- DANELUZZI, G. S.; DOS SANTOS, V. H. M.; SILVA, L. P.; DA SILVA, R. M. G. Avaliação dos potenciais fitotóxico e citotóxico de *Pyrostegia venusta* (Ker gawl.) Miers (Bignoniaceae). **Bioscience Journal**, v.30, 2014.
- EBERLEIN, C. V. Germination of Sorghum alnum seeds and longevity in soil. **Weed Science**, v.35, p.796-801, 1987.
- EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, v.71, p.428-434, 1958.
- ERASMO, E.A.L.; AZEVEDO, W.R.; SARMENTO, R.A.; CUNHA, A.M.; GARCIA, S.L.R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas indesejáveis. **Planta Daninha**, v.22, p. 1-8, 2004.
- FARIA, T.M.; GOMES JÚNIOR, F.G.; SÁ, M.E.; CASSIOLATO, A.M.R.; Efeitos alelopáticos de extratos vegetais na germinação, colonização micorrízica e crescimento inicial de milho, soja e feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1625-1633, 2009.

- FERREIRA, A. G. (2004). Interferência: competição e alelopatia. p.251-262. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323 p.
- FERREIRA, A.G.; ÁQUILA, M.E.A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, p.175-204, 2000.
- FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323p.
- FERREIRA, E.B.; CAVALCANTI, P.P.; NOGUEIRA, D.A. Experimental Designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, v.1, p.1-9. 2011.
- FERREIRA, M.C.; SOUZA, J.D.; FARIA, T.D.J. Potenciação alelopática de extratos vegetais na germinação e no crescimento inicial de picão-preto e alface. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1054-1060, 2007.
- GATTI, A.B.; FERREIRA, A.G.; ARDUIN, M.; PEREZ, S.C.J.G.A. Allelopathic effects of aqueous extracts of *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze on development of *Sesamum indicum* L. seedlings. **Acta Botânica Brasileira**, v.24, p.454-461, 2010.
- GATTI, A.B.; FERREIRA, A.G.; ARDUIN, M.; PEREZ, S.C.J.G.A. Allelopathic effects of aqueous extracts of *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze on development of *Sesamum indicum* L. seedlings. **Acta Botânica Brasileira**, v. 24, p. 454-461, 2010.
- GNAZDOWSKA, A.; BOGATEK, R. Allelopathic interactions between plants multi site action of allelochemicals. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.27, p.395-407, 2005.
- GOMES, F. M.; FORTES, A. M. T.; da SILVA, J.; BONAMIGO, T.; PINTO, T. T. Efeito alelopático da fitomassa de *Lupinus angustifolius* (L.) sobre a germinação e desenvolvimento inicial de *Zea mays* (L.) e *Bidens pilosa* (L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.8, n. 1, 2013.
- GRISI, P.U., RANAL, M.A., GUALTIERI, S.C. J., SANTANA, D. G. Allelopathic potential of *Sapindus saponaria* L. leaves in the control of weeds. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 34, p. 1-9, 2012.
- GUERRA, N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A.M.; ALMEIDA DAN, H.; ALONSO, D.G.; SANTOS, G.; CAMPOS JUMES, T.M. Efeito da modalidade de aplicação sobre o controle de *Bidens pilosa* resistente a herbicidas inibidores da enzima ALS. **Global Science and Technology**, v. 4, 2011.
- GUSMAN, G.S.; YAMAGUSHI, M.Q.; VESTENA, S. Potencial alelopático de extratos aquosos de *Bidens pilosa* L., *Cyperus rotundus* L. e *Euphorbia heterophylla* L. **Iheringia, Sér. Bot.**, v.66, p.87-98, 2011.
- HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potencial in osmotic solution. **Journal Express Botany**, v.27, p.480-9, 1976.
- HARPER, J. R.; BALKE, N. E. Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in oat roots by salicylic acid. **Plant Physiology**, v.8, p.1349-1353, 1981.
- JACOBI, U.S.; FERREIRA, A.G. Efeitos alelopáticos de *Mimosa bimucronata* (DC) OK. sobre espécies cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.935-943, 1991.
- KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México. 479p.
- KUMAR, V.; BRAINARD, D.C.; BELLINDER, R.R. Supression of Powell amaranth (*Amaranthus powellii*) by buckwheat residues: role of allelopathy. **Weed Science**, v.57, p.66-73, 2009.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington:Secretaria da OEA, 1983. 173p.

MAGUIRE, J.D. Seeds of germination-aid selection and evaluation seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba:FEALQ, 2005. 495p.

MATOS, F. J. A. **Introdução à Fitoquímica Experimental**. 3. Ed. Fortaleza: Edições UFC: 2009.

MENDONÇA, I.L.; TAVEIRA, A.L.M.; GIOMBELLI, G.L.C.; JEANFELICE, B.J.S.; CORSATO, J.M.; FORTES, A.M.T. Uso de *Ilex paraguariensis* A.ST.-Hill (erva-mate) em sistemas agroflorestais: Avaliação do potencial e dos efeitos alelopáticos sob parâmetros fisiológicos de espécie bioindicadora e espécie cultivada. **Journal of Agronomic Sciences**, v.13, n.1, p.159-179, 2024.

OLIVEIRA JR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. (ed. 1º) Curitiba: Ed. Omnipax, 2011. v. 1. 348p.

PERES, M.T.L.P.; MALHEIROS, A. Alelopatia: Interações químicas entre espécies. In: YUNES, R.A.; CALIXTO, J.B. (eds.). **Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna**. Chapecó-SC. Editora Universitária Argus, 2001. p.504-521.

PERES, F.; MOREIRA, J.C. Saúde e ambiente em sua relação com o consumo de agrotóxicos em um pólo agrícola do Estado do Rio de Janeiro, Brasil Health, environment, and pesticide use in a farming area in Rio de Janeiro State, Brazil. **Cad. Saúde Pública**, v.23, p.S612-S621, 2007.

PORTO, E.C.; TAVEIRA, A.L.M.; CORSATO, J.M.; FORTES, A.M.T. Desempenho fisiológico e sistema antioxidante de plântulas de feijão submetidas ao extrato aquoso de *Bauhinia forficata* L. In: SILVA, L.M. Botânica, ecologia e sustentabilidade: uma perspectiva multidisciplinar. São Paulo. Editora Científica Digital, 2023, p.86-101.

REDDY, K. N. and M. SINGH. 1992. Germination and emergence of hairy beggarticks (*Bidens pilosa*). **Weed Sci.** 40:195-199

REGINATTO, C., CERUTTI, T. R., SILVA, L., DENARDIN, R. B. N., Wildner, L. P., MARCON, V. D. Plantas espontâneas em áreas com cobertura de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e centeio (*Secale cereale* L.) In: **Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, XXVI**, 2008, Ouro Preto - MG. Anais... Ouro Preto:SBCE, 2008. Cd-Rom.

RICKLI, H. C.; FORTES, A. M. T.; da SILVA, P. S. S.; PILATTI, D. M.; HUTT, D. R. Efeito alelopático de extrato aquoso de folhas de *Azadirachta indica* A. Juss. em alface, soja, milho, feijão e picão-preto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.473-484, 2011.

RODRIGUES, L.R.A.; RODRIGUES, T.J.D.; REIS, R.A. **Alelopatia em plantas forrageiras**. Jaboticabal: FCAVJ-UNESP/ FUNEP, 1992. 18p.

SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. 2004. **Análise da germinação: um enfoque estatístico**. Editora UnB, Brasília.

SANTOS, Sonia. Potencial Alelopático e Avaliação Sistemática de Compostos Secundários em Extratos Provenientes de *Canavalia ensiformis* Utilizando eletroforese Capilar. 2004. 185 f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

SILVESTRE, D.M.; KOLB, R.M.; FREI, F.; SANTOS, C. Phytotoxicity of organic extracts of *Turnera ulmifolia* L. and *Turnera diffusa* Willd. ex Schult. in cucumber seeds. **Acta Botanica Brasilica**, v. 27, p. 476-482, 2013.

SODAEIZADEH, H.; RAFIEIOLHOSSAINI, M.; HAVLÍK, J.; DAMME, P.V. Allelopathic activity of different plant parts of *Peganumharmala* L. and identification of their growth inhibitors substances. **Plant Growth Regulation**, v.59, p.227–236, 2009.

SOUZA FILHO, A. P. S. Atividade potencialmente alelopática de extratos brutosehidroalcoólicos de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). **Planta Daninha**, v.20, p.357-364, 2002.

SOUZA- FILHO, A.P.S., GUILHON, G.M.S.P. & SANTOS, L.S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório - revisão crítica. **Planta daninha**, v.28, p.689-697, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918 p.

VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p. 1957-1968, 1991.

ZHANG, Y.; GU, M.; SHI, K.; ZHOU, Y.H.; YU, J.Q. Effects of aqueous root extracts and hydrophobic root exudates of cucumber (*Cucumis sativus* L.) on nuclei DNA content and expression of cell cycle-related genes in cucumber radicles. **Plant Soil**, v. 327, p.455–463, 2010.

BIBLIOTECA ESCOLAR FAROL DA EDUCAÇÃO JOSUÉ MONTELLO: ENTRE O IDEAL E O REAL

Jackeline de Freitas Nunes

RESUMO

Análise da concepção da comunidade do bairro Maiobão sobre a Biblioteca Escolar Farol da Educação !Josué Montello em Paço do Lumiar no Maranhão. Enfatiza-se a importância da biblioteca Escolar no fomento ao ensino-aprendizagem e formação de leitores. Frisa-se o papel do bibliotecário, sua importância e função como educador, consultor e mediador da informação. Avalia-se a atuação da Biblioteca Farol da Educação Josué Montello na comunidade que está implantada, apresentando os resultados obtidos através de pesquisa de campo onde foi aplicado questionário aos moradores do bairro, realizado entrevista com a supervisora estadual das Bibliotecas Farol da Educação do Maranhão e com os presidentes das entidades sociais representativas da comunidade. Depreende-se, com base na análise das informações coletadas, que: a frequência dos usuários na Biblioteca Farol da Educação está relacionada à pesquisa para trabalhos escolares e realização de provas; as atividades e serviços não têm obtido um bom índice de participação, uma vez que a minoria são envolvidos nas atividades; no que se refere à comunidade, objeto de nosso estudo, nota-se que a Biblioteca Farol da Educação tem estado presente na vida dos comunitários. Conclui-se que a Biblioteca escolar farol da educação Josué Montello tem contribuído de forma elementar no fomento ao ensino-aprendizagem e na formação de leitores na comunidade do Maiobão, contudo há a necessidade de incrementos efetivos no fortalecimento desse equipamento informacional para melhor desenvolvimento da cultura e das políticas de leitura.

Palavras-chave: biblioteca escolar; formação de leitores; políticas de leitura.

INTRODUÇÃO

A era da informação tem gerado oportunidades e desafios à sociedade e propiciado grandes transformações acarretando em mudanças nos diversos aspectos da humanidade. Marcada por uma abundância informacional jamais vivenciada, essa era – também denominada sociedade da informação – exige que os indivíduos desenvolvam habilidades específicas para lidar com a informação. Habilidades estas consideradas como “competência informacional que designa atribuições necessárias para localizar, interpretar, analisar, sintetizar, avaliar e comunicar informação independente do suporte em que essa se encontre”. (CAMPELLO, 2002, p. 9).

Concernente a isso, nota-se a relevância da Biblioteca Escolar que se insere no processo educativo como a principal fonte para aquisição e atualização de conhecimentos contribuindo essencialmente para a formação e desenvolvimento do indivíduo, tendo em vista as exigências da sociedade da informação.

O bibliotecário, por sua vez, quebra paradigmas, fazendo uso das novas tecnologias da informação aliada à educação continuada, adota nova postura na era da informação, deixando de ser guardador de livros, para ser mediador, orientador, conselheiro da informação e acima de tudo um educador.

Em se tratando da Biblioteca Escolar, vale ressaltar a percepção da necessidade do bibliotecário estar melhor preparado para realizar atividades que venham a estimular o interesse pela leitura e o saber, tendo em vista a formação e o desenvolvimento do usuário, uma vez que a Biblioteca Escolar atua como núcleo integral do sistema escolar, deixando de ser somente uma extensão da sala de aula e passando a proporcionar educação fora das restrições das escolas formais, tanto no aspecto físico quanto em relação ao professor que deixa de ser o detentor do saber para, juntamente com a biblioteca, passar a ser conselheiro e educador.

Além da função de produtora e disseminadora do conhecimento, a Biblioteca Escolar é, principalmente, um centro de cultura, uma instituição do saber onde os serviços e produtos gerados contribuem para a formação do indivíduo, e isso ocorre através da promoção de atividades que incentivem ou despertem o ser crítico e político de cada usuário, introduzindo a educação pessoal e direcionando o indivíduo para o auto-ensino, ou seja, preparando-o

para a compreensão de que é o condutor de sua aprendizagem, sendo exigido o desenvolvimento da habilidade informacional.

A auto-aprendizagem pode ser estimulada a partir do momento em que a biblioteca cria programas que conduzam o usuário à percepção desta para a sua vida, já o inclinando para o despertar da educação por toda vida, que pode ser regada com atividades desenvolvidas para esse fim.

A Biblioteca Escolar, além de incentivar a leitura, criando atividades educativas, também prepara cidadãos participantes, presentes na vida da sociedade, tornando-se:

[...] sem dúvida, o espaço por excelência para promover experiências criativas de uso de informação. Ao reproduzir o ambiente informacional da sociedade contemporânea, a biblioteca pode, através de seu programa, aproximar o aluno de uma realidade que ele vai vivenciar no seu dia a dia. (CAMPELLO, 2002, p. 11).

Nesse contexto, a democratização da informação em conjunto ao avanço científico e tecnológico tem exigido profissionais com plenas habilidades de leitura e escrita para que possa construir e reconstruir autodidaticamente o saber, o conhecimento.

Dessa forma, o bibliotecário escolar é, acima de tudo, um educador, uma vez que “[...] na sociedade da informação a biblioteca assume grande relevância na formação de personalidades criativas e críticas [...]” (FURTADO, 2000, p. 40), dando margem a um profissional que estará capacitado a promover oportunidades de aprendizagem, ou seja, possibilitar aos estudantes condições de aprender a aprender através do acesso ao conhecimento, o que permitirá além de desenvolvimento intelectual, inserção social e realização como ser humano conforme assinala Válio apud Furtado (200, p. 41).

[...] biblioteca escolar é uma faceta de toda atividade escolar e o bibliotecário é tanto um professor como os outros, como também um [...] complemento para cada professor. O bibliotecário escolar é um professor cuja disciplina é ensinar a aprender.

Nessa perspectiva, vislumbram-se as Bibliotecas Farol da Educação, que são bibliotecas com projeto arquitetônico específico criadas pela Secretaria da Educação e Cultura (SEEDUC), hoje Gerência de Desenvolvimento Humano

(GDH) através do projeto de Implantação de Bibliotecas Escolares. Estas possuem como principal característica “[...] atender a comunidade da escola onde está implantada, assim como a escolas da Educação Infantil, Ensino Fundamental e Médio, quer públicas ou particulares, e ainda a comunidade do bairro ou município” (MARANHÃO, 1996, p. 2) atuando como fomentadora no processo de ensino e aprendizagem através do estímulo à leitura.

Suas atividades têm sido voltadas para estimular o prazer pela leitura, através de obras literárias, contribuir para melhoria do processo ensino/aprendizagem nas escolas do bairro ou município envolvido, servir de centro de informações para a comunidade do bairro ou município beneficiado e, entre outros, dotar a comunidade de um espaço destinado ao encontro com as artes e com os bens culturais (MARANHÃO, 1996).

Com base nos dados de 2004 da Supervisão das Bibliotecas Farol da Educação, existem 48 bibliotecas, sendo 41 nos municípios do Estado e 7 na capital. Encontrando-se assim distribuídas às bibliotecas em São Luís:

- a) Biblioteca Farol da Educação José Sarney – vinculada à Unidade Integrada Renascença, no bairro Renascença;
- b) Biblioteca Farol da Educação Maurice Druon – vinculada à Unidade Integrada Nascimento de Moraes, no bairro do Vinhais;
- c) Biblioteca Farol da Educação João Mohana – vinculada à Fundação Antonio Jorge Dino, no Bairro de Fátima;
- d) Biblioteca Farol da Educação Gonçalves Dias – vinculada à Unidade Integrada Governador Archer, no bairro do Filipinho;
- e) Biblioteca Farol da Educação Antonio Neves – vinculada ao Centro de Ensino Médio Anjo da Guarda, no bairro do Anjo da Guarda; e
- f) Biblioteca Farol da Educação Sousândrade – vinculada à Unidade Integrada João Pereira Martins Neto, no bairro da Cidade Operária.

A Biblioteca Farol da Educação Josué Montello, vinculada à Unidade Integrada Domingos Vieira Filho, no bairro do Maiobão, está situada no município de Paço do Lumiar.

A administração das Bibliotecas Farol da Educação, da capital e do interior, é realizada pela GDH através da Supervisão de Bibliotecas Escolares, que é feito

por profissionais e estudantes de Biblioteconomia. Esta supervisão atua como o núcleo destas bibliotecas, pois é ela a responsável em manter a eficiência no desempenho de suas atividades a fim de obter a eficácia. Dispõe também de um técnico cujas atribuições contam de seleção, atuarão nas Bibliotecas Farol Educação, acompanhamento técnico nas unidades dos interiores, supervisão, planejamento e avaliação das atividades socioculturais.

Dessa forma, demonstra-se no decorrer desta pesquisa a percepção da comunidade do bairro do Maiobão, atendida pela Biblioteca Farol da Educação "Josué Montello", com relação aos serviços e atividades por ela oferecidos.

Embora outras pesquisas já tenham sido desenvolvidas por discentes do curso de Biblioteconomia da Universidade Federal do Maranhão sobre as Bibliotecas Farol da Educação, o enfoque das mesmas privilegiava temas como: Biblioteca Farol da Educação com suporte didático pedagógico às escolas do ensino fundamental da rede pública de São Luís e Biblioteca Farol da Educação como espaço na formação de leitores.

Dessa forma, busca-se compreender os reflexos das atividades dessa biblioteca sobre a comunidade que atende, ou seja, de que maneira esta comunidade tem percebido e qual a imagem que tem atribuído a estas bibliotecas.

A comunidade escolhida para estudo nesta pesquisa foi selecionada a priori por se tratar da primeira Biblioteca Farol da Educação implantada no Estado do Maranhão. Outra necessidade tem cunho particular, e diz respeito a confrontar teoria e prática vislumbrando a Biblioteca Farol da Educação como área de atuação profissional, a fim de comprovar verdadeiros resultados e alcance desta intimação na comunidade surgida da experiência, também particular, como estagiária desta instituição, há dezoito meses acompanhando essas atividades e repercussão internamente.

Portanto, tem-se como objetivo geral analisar a perspectiva das Bibliotecas escolares Farol da Educação na comunidade Maiobão em Paço do Lumiar a partir da visão dos comunitários, buscando para isso contextualizar o processo de implementação das Bibliotecas escolares Farol da Educação no Maranhão, analisando a visão dos comunitários sobre as Bibliotecas Farol da Educação Josué Montello na comunidade do Maiobão de forma a identificar a relevância da Biblioteca Escolar na vida dessa comunidade.

Para tanto, esta pesquisa encontra-se estruturada nas seguintes seções: a metodologia adotada para a obtenção das informações; revisão de literatura acerca da biblioteca escolar; apresentando-se, ainda, as Bibliotecas Farol da Educação no Maranhão, e, mais especificamente, a Biblioteca Farol da Educação Josué Montello que atende à comunidade em estudo; caracteriza-se o bairro Maiobão em sua origem e aspectos sociais, culturais e econômicos a partir da contribuição dos presidentes da União, Associação e Centro Comunitário; bem como a concepção da comunidade deste bairro sobre a Biblioteca Farol da Educação Josué Montello e, finalmente, conclui-se com os resultados produzidos com base no referencial teórico e a pesquisa de campo.

METODOLOGIA

Todo processo de pesquisa envolve uma metodologia específica a ser utilizada, pois:

Tomada no sentido amplo, pesquisa é toda a atividade voltada para a solução de problemas; como atividade de busca, indagação, investigação, inquirição da realidade, é a atividade que vai nos permitir, no âmbito da ciência, elaborar um conhecimento ou um conjunto de conhecimentos, que nos auxilie na compreensão desta realidade e nos oriente em nossas ações. (PÁDUA, 2000, p. 31).

Dessa forma, considerando a natureza da pesquisa de caráter qualitativa, não se teve neste primeiro momento, o objetivo de forma exaustiva a visão de todos os moradores do Maiobão, que se constatou segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) ser de aproximadamente 27.000 habitantes.

Assim, privilegiou-se os moradores do entorno mais próximo da Biblioteca Farol da Educação, cujas casas são em ruas circunvizinhas ao mesmo.

Universo da pesquisa

O campo de abrangência desta pesquisa limitou-se a coletar opiniões dos moradores residentes em casas de números ímpares em ruas também ímpares circunvizinhas à Biblioteca Farol da Educação.

As ruas contempladas foram: na avenida 13, ruas 01, 39,53,53,81 e 85; e na avenida 14, ruas 01 e 37, onde aplicou-se o questionário. Optou-se por realizar a pesquisa indo até as residências, e não os usuários da Biblioteca Farol da Educação, para que, dessa forma, pudéssemos alcançar frequentadores e não frequentadores. Buscando-se, dessa forma, identificar as características pertinentes a cada categoria. Perfazendo um total de 9 logradouros com 43 residências.

Pesquisa documental

Foi realizado levantamento bibliográfico de literatura técnico-científica relacionada com o assunto da pesquisa que envolve Biblioteca Escolar, profissional bibliotecário, Bibliografia Farol da Educação e metodologia da pesquisa científica.

Selecionados os documentos condizentes com a realidade da pesquisa, passou-se à exploração dos mesmos através de leitura e análise crítica. Buscando-se, desta maneira, embasamento teórico para a realização do estudo. Além disso, recorreu-se à leitura do Manual de Serviço da Biblioteca escolar Farol da Educação, de dados estatísticos, relatórios de atividades, projetos, documentos esses frutos da atuação das Bibliotecas Farol da Educação.

Técnicas

Objetivando apurar informações mais qualitativas, optou-se pela aplicação do questionário, pois “constitui o meio mais rápido e barato de obtenção de informações, além de não exigir treinamento de pessoal e garantir o anonimato”. (GIL, 1996, p. 90).

Selecionado o instrumento, realizou-se o pré-teste no bairro do Lima Verde, sendo, este, comunidade adjacente ao Maiobão e, portanto, usuários potenciais da Biblioteca Farol da Educação Josué Montello. O pré-teste foi efetuado no dia de 22 de maio de 2004, sendo aplicado a quinze moradores.

Após análise do pré-teste do questionário, foram realizadas as devidas alterações e o mesmo foi aplicado no período de 12, 19 e 26 de junho, totalizando 43 questionários (conforme Apêndice A). Na sua elaboração, buscou-se

contemplar questões pertinentes à frequência, acervo, atividades e serviços, bem como atendimento da biblioteca.

Durante a pesquisa, foi possível perceber a receptividade dos moradores para com a pesquisadora, assim como interesse e motivação em responder e contribuir para a melhoria das Bibliotecas Farol da Educação, através de críticas ao seu funcionamento e à política governamental.

Foram realizadas entrevistas com a supervisora estadual das Bibliotecas Farol da Educação, Prof^a dra. Cássia Furtado, Presidente da União dos Moradores, Senhora Benedita Conceição Abreu e Presidente da Associação dos Moradores, Senhor Severino Silva Barros.

Para análise dos dados coletados na pesquisa, levou-se em consideração alguns critérios que se tornaram relevantes para a leitura dos questionários. A primeira variável observada foi a assiduidade do usuário à biblioteca, que originou dois grupos distintos, os não frequentadores e os frequentadores. Identificadas essas categorias, detectaram-se as características pertinentes a cada grupo.

Em relação ao primeiro grupo, observou-se a faixa etária, nível de escolaridade e motivo pelo qual não frequenta a Biblioteca Farol da Educação. Sendo que para estes sujeitos o questionário tornava-se limitado a esses itens, uma vez que, como não frequentadores, não possuíam conhecimento para opinar acerca das demais variáveis.

No que diz respeito ao segundo grupo, além das variáveis mencionadas acima, analisou-se todas as demais questões abordadas no questionário, de onde retirou-se subsídios para a efetivação dos resultados da pesquisa, conclusões acerca do tema proposto, assim como sugestões concebidas a partir de opiniões dos próprios pesquisados e da pesquisadora.

BIBLIOTECA ESCOLAR FAROL DA EDUCAÇÃO JOSUÉ MONTELLO: percepções e desafios frente a formação de leitores

A Biblioteca Escolar é uma instituição social fomentadora do ensino-aprendizagem, responsável ainda pela formação de cidadãos críticos e conscientes capazes de promover mudanças. É de fundamental importância que a biblioteca escolar desenvolva suas atribuições junto à sociedade por se tratar de mola propulsora para o desenvolvimento da mesma, pois:

Às bibliotecas, assim como a outras instituições, [...] precisam satisfazer as necessidades dos seus usuários. Na verdade, a sobrevivência destas instituições dependerá da capacidade que venham a ter para atender a estas necessidades. Se elas não as satisfazem de maneira adequada, outras entidades com mais interesse serão criadas para realizarem esta tarefa. (FIGUEIREDO, 1994, p. 68)

Nesse contexto, se insere a Biblioteca Farol da Educação Josué Montello que vem atendendo à comunidade do Maiobão e áreas adjacentes através de suas atividades e serviços, e vem obtendo uma resposta positiva no que concerne à busca da comunidade usuária e a seus recursos informacionais, assim como à participação em suas atividades.

Dessa forma, procura-se identificar os usuários potenciais e reais da Biblioteca Farol da Educação, demonstrando suas ideias e opiniões, constatando assim o verdadeiro alcance das atividades e serviços da biblioteca escolar Farol da educação na comunidade na qual está inserida.

As opiniões dos comunitários retratam os reflexos da Biblioteca escolar Farol da Educação em suas vidas. Até que ponto essa biblioteca tem contribuído nos horizontes do caminho do conhecimento, é o que será demonstrado, relacionando abaixo cada item pesquisado.

Do universo dos pesquisados, detectamos que 69,77% são frequentadores da Biblioteca Farol da Educação, enquanto que 30,23% não a frequentam. Em relação a faixa etária dos pesquisados e frequentadores, constatou-se que a mesma compreende dos 9 aos 21 anos, abrangendo crianças, adolescentes e jovens. O que se observa estar dentro dos objetivos almejados quando da implantação das Bibliotecas Farol da Educação no que se refere ao público alvo, visto que o seu projeto foi concebido com o objetivo de “socializar informações às comunidades carentes, destacando-se a comunidade estudantil do ensino fundamental e médio” (MARANHÃO, 1996, p. 2).

Os grupos de pessoas frequentadoras variam de crianças (9 a 12 anos) que aparecem no percentual de 30% adolescentes com 16,7%, jovens com 50% e somente 3,3% de adultos. Percebe-se que a biblioteca contempla todas as faixas etárias apesar de uma maior incidência na população de crianças e jovens. Essa prática permite o alcance de uma das funções da Biblioteca Escolar no sistema educacional, que é permitir “[...] o acesso de um maior número de

crianças e jovens a materiais educativos e oportunizando o desenvolvimento de cada aluno a partir de suas atitudes individuais" (MODELO..., 1985, p. 49).

Em relação à escolaridade dos usuários frequentadores da biblioteca, observa-se que o maior índice é de usuários do Ensino Médio, com 53,3%, do Ensino Fundamental aparece 43,3% e do Ensino Superior apenas 3,3%. Neste caso, a biblioteca contempla a comunidade escolar, indo ao encontro da característica das mesmas, que são "[...] envolver escolas da educação infantil, ensino fundamental e ensino médio [...]". (MARANHÃO, 1996, p. 2).

No tocante aos não frequentadores, observou-se que a faixa etária predominante fora a idade adulta, com 61,54% de incidência nas respostas, enquanto jovens 30,77% e adolescentes 7,69%. Não detectamos não frequentadores de 7 a 12 anos.

As pessoas pesquisadas, embora tenham conhecimento da biblioteca, não a frequentam por acharem que não tem necessidade, uma vez que a maioria, já adulta, não estuda mais, além de apontarem que possuem outras prioridades, como emprego, e, portanto, não dispõem de tempo para ir à biblioteca. Ainda, há também o argumento de que não precisam ir à biblioteca, pois possuem fontes (coleções enciclopédicas, internet) para pesquisar em casa.

Nota-se, portanto, a deficiência na concepção de biblioteca, já que esta tem sido compreendida como espaço apenas para estudantes ou para quem não tem outra fonte de acesso ao conhecimento.

A biblioteca não está sendo percebida pelos moradores com essa faixa etária como espaço para pesquisa, estudos, educação continuada, informações utilitárias ou leitura de jornais, revistas. A biblioteca é um espaço para todos, sem exceção, e precisa estar presente agindo, dessa maneira, na vida de seus comunitários.

Em relação ao nível de escolaridade, detectamos uma maior incidência para o Ensino Médio, enquanto o Ensino Fundamental aparece em segundo lugar, como pode se observar na Tabela 3. Mediante este fato, indaga-se o que necessitaria ser feito para recuperar esse público tão especial e hoje tão evasivo, pois, como endossa Caldin (2001, p. 112):

A biblioteca pública e a biblioteca escolar têm um público específico e garantido: a criança. Usuário com interesses próprios, exige um acervo a ela

direcionado. O bibliotecário, preocupado com o caráter informativo e didático do material da biblioteca, relega a segundo plano, algumas vezes, o material de caráter lúdico, indispensável para apurar a sensibilidade estética deste usuário - pequeno em tamanho e grande em exigências.

Em relação a assiduidade constatou-se que, dos frequentadores da Biblioteca FArol da Educação, apenas 6,7% possuem frequência diária, enquanto que os demais demandam entre uma e quatro vezes por semana, ou seja, 43,4% frequentam a biblioteca apenas uma vez por semana; 13,3% três vezes por semana e 36,7% têm uma frequência variada entre uma vez por mês ou de dois em dois meses, e assim por diante.

Dessa forma, denota-se que a frequência à biblioteca ainda não é uma constante, o que, em consonância com a variável finalidade da busca pelo acervo (Tabela 8), percebe-se que o maior índice de busca é para a realização de trabalhos escolares, e não para a leitura, pesquisa, atualização ou pelo simples prazer. Estes usuários não utilizam o espaço da biblioteca como um “[...] laboratório da pesquisa escolar” (OLIVEIRA, 1986, apud VIANA; CARVALHO; SILVA, 1999, p. 18).

Percebe-se, ainda, que os turnos mais frequentados são manhã e tarde (diurno), sendo que de noite também é frequentado, porém não com a mesma intensidade, ou seja, o turno vespertino tem incidência de 43,4% e o matutino de 46,7%, enquanto que o noturno possui somente 23,3%. Este turno é frequentado em sua maior parte por usuários vestibulandos e concursandos - que aproveitam o espaço da biblioteca para suas leituras - bem como por usuários que se dirigem à mesma a fim de efetuarem devolução e empréstimo de livros.

No que se refere ao acervo observou-se que encontra-se defasado, literaturas desatualizadas, conservação prejudicada devido alto manuseio, necessitando de atualização das coleções técnicas e dos livros paradidáticos. Assim, entende-se que oferecer informações qualitativas a seus usuários é dever de toda unidade de informação que se preze e, para isso, seu acervo “[...] deve conter todo tipo de livro. É a variedade e não a especialização que define a qualidade de um acervo” (SANCHES NETO apud VIANNA, 2023 p. 13).

No tocante à satisfação das necessidades informacionais, 76,7% dos usuários consideram que o acervo satisfaz suas necessidades pois sempre

encontram o assunto procurado, e apenas 23,3% sentem-se insatisfeitos devido à desatualização.

Percebe-se, também que a maior incidência de busca pelo acervo acontece para a elaboração dos trabalhos escolares, o que denota um comportamento estigmatizado do usuário frente à biblioteca, pois recorre à mesma apenas por imposição das tarefas escolares, o que pode ser também percebido na Tabela 8, que demonstra o material mais usado. Diante dessa realidade, percebe-se que este usuário, na maioria das vezes, copia verbetes enciclopédicos, sem espaço para a criatividade e imaginação, e propicia o que Milanese (2002, p. 58) enfatiza como “[...] uma das mais trágicas situações para a formação da pessoa: não ter a possibilidade de acesso ao conhecimento, não poder exercitar o intelecto, a imaginação [...]”.

Somente 33,3% têm recorrido ao acervo para leitura espontânea sem as cobranças da sala de aula, buscando o conhecimento de forma prazerosa, ampliando os horizontes do saber. Os motivos que levaram os usuários à busca pelo acervo, 83,3% responderam que o utilizam para auxílio nos trabalhos escolares; 33,3% buscam o acervo para leitura; 23,3% para auxiliar nas provas; 16,7% para empréstimo e 3,3% para trabalhos acadêmicos. Esta variável não totaliza os cem por cento devido aos usuários consultarem o acervo para mais de uma finalidade.

Em relação ao material informacional mais usado, 76,7% pesquisados fazem uso dos livros didáticos; 26,7%, dos livros de literatura e obras de referência e 16,7% fazem uso dos jornais. Observa-se que o material didático constitui-se no material mais usado pelos usuários, estando em consonância com o que se pode constatar na Tabela 6, quanto ao percentual de 33,3% destinado à finalidade da pesquisa; os livros de literatura prefiguram o segundo maior índice em consonância com o percentual de finalidade de leitura que também aparece em segundo índice. Esta variável não totaliza os cem por cento devido aos usuários recorrerem ao uso de mais de um material informacional.

Vale ressaltar, ainda, que o quantitativo correspondente aos materiais didáticos que compõem o acervo é apenas de 25% como já mencionado anteriormente, o que nos conduz à indagação se esse percentual estaria sendo suficiente para atender à demanda, uma vez que é o material mais consultado pelos usuários.

No que tange à qualidade física do acervo, quanto à conservação, 50% dos usuários consideram boa; 26,7% regular; 20% ótima e somente 3,3% acham ruim. Na visão dos usuários o estado dos recursos informacionais encontra-se em bom nível de conservação. Contudo, considerando a política de acesso livre ao acervo das bibliotecas escolares farol da educação evidencia-se a baixa qualidade na conservação, visto que, por ser de livre acesso, proporciona grande manuseio do material; tal fato permite trazer à tona critérios de preservação salientados pela literatura especializada que recomenda “[...] não manusear livros ou documentos com as mãos sujas; não realizar refeições; não manter plantas aquáticas, guarda-chuvas e capas molhadas junto ao acervo” (SILVA, 1994, p. 3).

Quanto à atualização do acervo, 60% responderam que o consideram atualizado, uma vez que sempre encontram o assunto procurado; ao passo que 30% acreditam ser desatualizado, pois os usuários declaram dificuldade em encontrar as temáticas de pesquisa proposta pela escola, por isso consideram ser necessária a aquisição de novos livros; pois 10% deixaram de opinar neste item. Nesse sentido, é importante salientar que o acervo precisa de novas aquisições e atualizações significativas nas suas coleções.

Embora a atualização dos livros utilizados pelos usuários encontra-se a contento da maioria, que satisfazem suas necessidades informacionais, encontrando sempre a temática da pesquisa e a minoria considera que o acervo está defasado, precisando de novas aquisições com os assuntos atualizados resalta-se que para estes usuários, suas necessidades informacionais não estão sendo satisfeitas, já que procuram a biblioteca e os materiais de informação não estão condizentes com suas pesquisas e seus interesses, uma vez que procuram o assunto, mas não o encontram, ou as informações já estão ultrapassadas.

Em relação à organização do acervo, que irá possibilitar a rápida localização do material, 56,7% conseguem localizar com facilidade, 36,7% têm dificuldades e 6,6% deixaram de opinar. É importante salientar que a avaliação dessa variável considera a disposição física que o acervo se encontra, assim como a organização e sinalização, o que, no nosso entendimento, irá permitir a sua rápida localização. Portanto, constata-se que a maioria consegue localizar com facilidade o material procurado, e a minoria não consegue, considerando o acervo desorganizado e os livros fora do lugar (estante). Concernente a isso, cabe ressaltar a coleção de Literatura Infantil e juvenil que possui etiquetas

padronizadas, como já fora mencionado anteriormente, o que permite sua fácil identificação pelos usuários e se coaduna com o assinalado por Campello, Vianna, Rezende (2002).

No tocante à implantação da Biblioteca escolar Farol da Educação Josué Montello, no bairro do Maiobão, detectou-se que, dos indivíduos pesquisados, 63,3% atribuíram o conceito bom, para 36,7% conceito ótimo. Os valores regular e ruim não foram identificados. Para os comunitários pesquisados, a implantação da biblioteca no bairro do Maiobão propiciou aos moradores um espaço para a aquisição de conhecimento, “pois não tinham no bairro onde fazer suas pesquisas; lugar onde podem estar para estudar, ler e se divertir”, uma vez que, na biblioteca, além de terem acesso à informação, as atividades realizadas envolvem momentos de recreação, que propicia conhecimento aliado à diversão.

Dessa forma, compreende-se que a implantação da Biblioteca Escolar Farol da Educação nesta comunidade foi considerada boa por trazer benefícios no que tange às necessidades informacionais de seus usuários.

As atividades e serviços da Biblioteca Escolar devem estar voltados para atender às necessidades informacionais dos usuários, possibilitando, assim, o desenvolvimento do ensino-aprendizagem, além da criação de condições favoráveis à formação de leitores.

Conquistar o usuário através de seus serviços é função da Biblioteca, tornando-o um frequentador espontâneo, na busca de informações e cultura e educando-o para consciência de que lá não é lugar de castigo, ou apenas para cumprir as anotações de sala de aula ou fazer cópias, mas um espaço dinâmico de aprendizagem e lazer.

E, para isso, as atividades devem estimular o prazer pela pesquisa, pela leitura, pelo descobrir o saber, atentando para o fato de que “além da leitura variada de livros, revistas, jornais e gibis, a biblioteca deverá oferecer os recursos de multimídia, atraentes para os mais jovens. O espaço para um público dos doze aos dezessete anos dificilmente terá frequência se não for além da leitura convencional” (MILANESI, 2002, p. 63).

Andrade (1989, p. 3) ainda assinala:

A biblioteca infantil ou escolar deveria ter como atividade de rotina ler histórias para crianças [...] a hora do conto é uma das atividades realizadas com a finalidade de despertar nas crianças

o interesse maior para explorar o mundo mágico da leitura. Ler e contar histórias é uma forma de desenvolver o gosto pela fantasia, incentivando aspectos que dizem respeito ao seu potencial criativo.

No que se refere à participação dos usuários nas atividades desenvolvidas pela Biblioteca escolar Farol da Educação, constata-se que, da totalidade dos frequentadores, apenas 33,3% participam das atividades, enquanto deles 66,7% não participam.

Em relação à não participação nas atividades desenvolvidas pela biblioteca, os argumentos apresentados pelos frequentadores com maior incidência nas respostas foram: 26,66% alegaram que não participam por falta de tempo; 13,33% justificaram que não tinham conhecimento da realização das atividades e 6,66% declararam não participar por considerarem as atividades voltadas apenas para o público infantil. O que se constata ser verídico, pois, das atividades desenvolvidas, apenas a Roda de Leitura é voltada para o público Juvenil, ou seja, usuários do Ensino Médio, sendo esta atividade desenvolvida nas escolas, e não no espaço da biblioteca. Para o público adulto, não detectamos nenhuma atividade desenvolvida.

Concernente ao argumento da falta de conhecimento na realização das atividades, acredita-se estar havendo uma deficiência de comunicação do Farol com sua comunidade usuária, uma vez que são frequentadores e, nessa condição, deveriam estar informados da realização dessas atividades. A título de sugestão, alguns sujeitos acreditam que anúncios em rádios comunitárias evitariam o problema.

No tocante às atividades direcionadas para os usuários, percebemos que o Arraial da Leitura e a Quinzena do Livro figuram em igualdade nas respostas com 26,7% das respostas; Encontro Mágico com 20%; Clube da Leitura com 16,7%; a Semana da Criança e a Semana da Pátria aparecem com o menor índice de participação, que são, respectivamente, 13,3% e 6,7%.

Quando questionados se as atividades contribuíram para o aumento do interesse pelos livros, os frequentadores que participaram das atividades, em sua totalidade, afirmaram que as mesmas lhes proporcionaram o aumento do gosto pelos livros, de forma lúdica.

Os sujeitos consideram que essas atividades têm lhes incentivado à leitura e ao aprendizado, pois “quanto mais leem, mais querem saber”. Declaram

ainda ser prazeroso, pois, enquanto “leem, de divertem”. A diversidade de títulos também aparece como fator relevante nesse contexto.

Dessa forma, compreende-se que estas atividades têm desenvolvido o gosto pela leitura, pois os usuários sentem-se motivados a buscar novidades que lhes ofereçam conhecimento e prazer.

Diante disso, percebe-se que a biblioteca Josué Montello tem propiciado “[...] condições para o desenvolvimento de experiências que estimulem no aluno o gosto pela utilização dos livros e desenvolvam nele o hábito da leitura como fonte de informação e de prazer [...]” (MODELO..., 1985, p. 50).

A hora do conto, desenvolvida nessas atividades, constitui-se como um fator preponderante para esse resultado, uma vez que o lúdico é trabalhado com esse objetivo, desenvolver o imaginário, a criatividade, o senso crítico e, principalmente, estimular a criança e o adolescente a ler mais livros, pois a hora do conto é o momento em que se estabelece uma relação usuário e livro, realidade e fantasia esse momento precisa acontecer de forma que conduza o usuário a “ler, ouvir, tocar o livro com todos os sentidos, entrar nele, vislumbrar encantos e novidades, tecer surpresas, imaginar irrealidades e viver emoções reais... esse caminho é aberto ao novo, às camadas profundas, irracionais, que apreendem, intuem, armazenam, imagens, sensações e sentimentos” (RESENDE, 1997, p. 123).

No que tange aos benefícios proporcionados pela Biblioteca Farol da Educação na vida estudantil dos usuários, detecta-se que, do universo dos pesquisados, todos sentiram-se beneficiados nos estudos após frequentar o Farol. A justificativa mais frequente apresentada é que a mesma tem propiciado maior aquisição de conhecimento, o que se coaduna com os objetivos propostos pela biblioteca escolar em função do processo ensino-aprendizagem, que sendo o usuário uma fonte de “[...] aprendizagem, devendo fazer parte do cotidiano do estudante, alimentando a utilização de informação e geração de conhecimento” (VIANNA; CARVALHO; SILVA, 1999, p. 18).

Verificou-se que imbuído a esse resultado encontra-se o aumento do interesse pelos livros ocasionados pela participação nas atividades, como mencionado anteriormente.

Em relação ao serviço de uso da internet, constatamos que é realizado por 40% dos pesquisados, ao passo que a maioria, representada por 60%,

não a utiliza como fonte para pesquisa. Os mesmos justificam que a procura é grande e o tempo estimado é de apenas 15 minutos por usuário, o que acaba desestimulando o uso.

A internet constitui-se como uma importante ferramenta para pesquisa, uma vez que propicia uma velocidade maior em alcançar os resultados. No entanto, sabe-se que o uso sem a devida informação e orientação pode ocasionar cópias de textos que, na maioria das vezes, são entregues ao professor sem nenhuma alteração, o que prejudica muito o aluno, que se priva do privilégio de construir suas próprias ideias e formar suas opiniões. Além disso, a confiabilidade dessas informações é questionável, uma vez que:

[...] pela própria dinâmica da informação digital e dos recursos para operacionalizar na internet, muitas informações relacionadas podem estar alteradas, pois a facilidade de se colocar, modificar, incluir novas informações ou até mesmo retirá-las possibilita o reflexo do que seja a informação na pós-modernidade (algo visível por determinado tempo e depois altera-se conforme os interesses de quem manipula as informações)" (BLATTMANN, 2002, p. 41).

Dessa forma, isso compromete a pesquisa, que não é realizada em sua essência como algo que promova a descoberta, o desenvolvimento, o aprimoramento e acúmulo de conhecimentos, o que, para Messa (2002, p. 33), tem se tornado uma preocupação, pois "[...] muitos educadores se defrontam com problemas que nunca haviam enfrentado: a inexperiência do estudante quanto ao uso da internet e o plágio. Quando falo da inexperiência do estudante, refiro-me à pesquisa".

A imagem da biblioteca reflete as ações do profissional que nela atua. Um profissional dinâmico, empreendedor, criativo, praticante de suas atribuições como educador e agente social fará da biblioteca um centro de cultura. A interação entre bibliotecário, usuário e professor é de fundamental relevância. É necessário que suas ações estejam voltadas aos programas das escolas; e ainda mais é preciso que o bibliotecário faça parte das reuniões de planejamento, apresentando a biblioteca como espaço para a prática do conteúdo das aulas, ou seja, como laboratório para experimentação, "laboratório de aprendizagem integrado ao sistema educacional, devendo facilitar o acesso,

a disponibilidade e a utilização de seus recursos a toda a comunidade educacional' (VIANNA, 1999, p. 4).

A promoção de eventos e programações criativas eleva o papel da biblioteca e consequentemente do bibliotecário, pois "bibliotecário escolar é um dos mais importantes professores de toda a escola" (CALIXTO, 1996, p. 136). O conhecimento da técnica é importante, mas ao bibliotecário escolar cabe uma capacitação específica, tendo que buscar apoio em áreas afins como a pedagogia e artes, para que, dessa maneira, possa atender satisfatoriamente ao seu usuário.

Concernente a isso, observa-se uma grande lacuna dos cursos de Biblioteconomia que não comportam em seu currículo disciplinas que contemplem as qualificações necessárias para capacitar o bibliotecário para atuar em bibliotecas escolares. Embora no curso sejam ministradas as disciplinas de Leitura e Formação de Leitores e Serviço em Unidades de Informação Pública e Escolar, sente-se carência na capacitação do profissional no campo da educação e como agente cultural, pois "o trabalho de ação cultural bibliotecária exige um profissional com um perfil diferenciado e um tipo de formação que seja complementada com disciplinas de outras áreas, além da biblioteconomia" (CABRAL, 1999, p. 42).

No que se refere à quantidade de auxiliares existentes na Biblioteca Farol da Educação, em relação ao atendimento das necessidades dos usuários, percebe-se que o quantitativo de funcionários, segundo os indivíduos pesquisados, é satisfatório, atendendo a contento suas necessidades. Pois sempre que necessitam de auxílio, são atendidos. Esta opinião representa 66,7% das respostas positivas, enquanto 33,3% consideram o número insuficiente.

Sobre sentirem-se recepcionados pelos auxiliares, 86,7% responderam que se sentem bem recepcionados e acolhidos pelos auxiliares, enquanto que 13,3% responderam que não, alegando muitas vezes serem tratados sem educação. Em relação à orientação para busca e localização da informação, 86,7% responderam que são orientados pelos auxiliares, e 13,3% afirmaram que não recebem auxílio na busca do assunto da pesquisa.

Dessa forma, percebe-se ser essencial a orientação do usuário à pesquisa, e a necessidade de um profissional capacitado que execute essa tarefa para, assim, promover a satisfação do usuário e assegurar a funcionalidade da biblioteca, conforme assinala Amato (1989, p. 17):

[...] outro aspecto importante para a funcionalidade da biblioteca escolar é a orientação de pesquisa aos educandos, pois são inúmeras as dificuldades que os alunos apresentam quando tem de consultar a biblioteca. Para que esse local seja útil à realidade escolar, torna-se necessária a presença de uma pessoa capacitada, que ensine o aluno a pesquisar.

Pesquisa entendida aqui como a busca de informações em várias fontes, ou seja, em mais de um livro ou, ainda, em mais de um site, para que assim o aluno possa ter a oportunidade de ampliar seu conhecimento e leque de ideias.

Comunidade

Na conjectura da sociedade da informação, a necessidade de capacitação é crescente, haja vista a competitividade acirrada que a globalização tem ocasionado. Quando se menciona globalização na sociedade da informação reporta-se a “[...] constante reestruturação do saber de cada indivíduo, a partir de cada experiência vivida” (ALMEIDA, 1999, p. 22).

Pois é essencial a criação, o aprimoramento de conhecimentos a busca contínua por informações que venham dotar esse indivíduo de qualificações para se sustentar e evoluir na era da criatividade.

A Biblioteca Escolar, como atuante na formação do indivíduo, deve estar atenta a isso, e atenta à perspectiva de inserção do futuro usuário da biblioteca universitária, preparando-o, assim, para desenvolver habilidades informacionais, pois “o ensino conteudístico baseado na memória perde sua função, a favor de um ensino centrado na construção de habilidades e competências. E nesse mundo novo, a biblioteca é um espaço necessário para a formação e o exercício dessas habilidades” (ALMEIDA, 1999, p. 22).

Compreende-se então que a biblioteca deve, através de suas atividades, serviços e acervo, envolver a comunidade do bairro a qual está inserida, uma vez que como instituição social deve extensionar suas ações de suas paredes, ou seja, expandir suas ações de forma a atingir a comunidade, envolvendo-a em atividades de forma a contribuir para o despertar de um indivíduo crítico, formador de opiniões e transformador de realidades. Para isso, é necessário que a biblioteca seja “[...] um local propício ao diálogo e ao exercício da produção

e criação culturais, reduzindo o acesso desigual aos bens simbólicos na sociedade” (CABRAL, 1999, p. 44).

No tocante às mudanças que a implantação do Farol teria influenciado na comunidade do bairro, 80% dos sujeitos responderam que, após sua implantação, houve mudanças na população local. As mudanças com maior índice nas justificativas foram maior valorização pelos livros e maior aquisição de conhecimentos.

As respostas negativas, representadas por 20%, consideram que o desinteresse continua o mesmo, não existe interação entre a Biblioteca, a população e as escolas, além de que o espaço pequeno tem prejudicado a demanda da população.

Como forma de buscar subsídios que identificassem o verdadeiro alcance proporcionado pela biblioteca Josué Montello na comunidade, questionou-se os sujeitos da pesquisa quanto aos benefícios e aspectos percebidos e/ou vivenciados na comunidade, que motivaram mudanças pela frequência à biblioteca.

Dessa forma, 60% dos indivíduos responderam que conhecem pessoas que foram motivados a mudanças após frequentarem a biblioteca, enquanto 40% não conhecem ninguém.

Os aspectos mais evidenciados pelos pesquisados foram:

- a) desenvolvimento na prática da leitura;
- b) maior valorização dos livros;
- c) maior busca pelo conhecimento;
- d) aprovação no vestibular;
- e) maior interesse pelos estudos.

Do percentual que respondem não, os motivos apresentados foram: a comunidade continua sem interesse de frequentar a biblioteca; o espaço pequeno prejudica uma maior abrangência da população, já que sempre está lotada e a não existência de interação da biblioteca com a população e destas com as escolas.

Nesse contexto, vale ressaltar o depoimento de uma moradora quando afirmara que seu “irmão havia deixado de ficar na rua” após frequentar a biblioteca.

Diante disso, percebe-se que a Biblioteca Farol da Educação Josué Montello tem alcançado a comunidade através de suas atividades e serviços proporcionando benefícios educacionais, culturais e sociais, uma vez que, motivados pela frequência à biblioteca, estes indivíduos apresentaram mudanças em suas vidas, que resultaram em ações positivas, conduzindo-os a uma evolução não só na área educacional, como social, exercendo assim sua função no que diz respeito ao “[...] desenvolvimento das potencialidades do educando, prevendo suas necessidades intelectuais e sociais e oferecendo-lhe meios de satisfazê-las através de suas próprias indagações e pesquisas” (CARVALHO apud VIANNA; CARVALHO; SILVA, 1999, p. 18).

Sobre a interação Biblioteca e comunidade, constatamos que, na visão dos comunitários, é considerada existente, tendo um percentual de 86,6% de respostas positivas, além de 6,7% negativas e 6,7% abstinências. Para os sujeitos da pesquisa, as atividades “têm melhorado a comunicação com a comunidade, e a grande procura pelos seus serviços demonstra que tem se apresentado como um lugar para todos e não só para alguns, constituindo-se assim, como algo pertencente a comunidade”.

Concernente a isso observa-se uma contradição nos depoimentos, uma vez que na variável de participação nas atividades desenvolvidas pelo Farol, os sujeitos declaram não participar das mesmas por não terem conhecimento de suas realizações, demonstrando deficiência na comunicação Farol e comunidade usuária.

Diante da realidade das Bibliotecas Escolares no Brasil, e considerando as bibliotecas Farol da Educação integrantes de um projeto criado pelo governo estadual, onde sabemos que as questões políticas é que norteiam as decisões, e por isso muitos projetos iniciam mas com o tempo são extintos, perguntou-se aos comunitários se haveria reação dos mesmos caso o deixasse de atender à comunidade; todos (100%) dos pesquisados responderam que fariam reivindicações e reclamações aos órgãos competentes.

As reivindicações como denúncias e passeatas aconteceriam por ser a Biblioteca Farol da Educação Josué Montello o único “meio de estudo e pesquisa” segundo os pesquisados. Alegam, ainda, que ficariam sem acesso a bons livros, o que prejudicaria muito a comunidade no acesso à informação e ao conhecimento.

CONCLUSÃO

De modo geral, a concepção dos comunitários em relação à Biblioteca escolar Farol da Educação Josué Montello denota um prisma positivo, embora se observe que algumas áreas necessitam de maior atenção.

A frequência dos usuários a biblioteca Farol da educação está relacionada à pesquisa para trabalhos escolares e realização de provas, ao passo que poucos são os que a procuram para leitura e lazer – algo que necessita ser melhor trabalhado, envolvendo os usuários em atividades que venham a lhe proporcionar o prazer em ir a biblioteca sem as obrigatoriedades da sala de aula, pois é sua função desenvolver o gosto pela leitura.

Embora esteja contemplando seu público alvo, que são os usuários do ensino fundamental e médio, observa-se que os comunitários da idade adulta e terceira idade não têm sido alcançados, uma vez que pessoas que não têm interesse na pesquisa não frequentam a biblioteca. Nesse rol, incluem-se as donas de casa e idosos, que não veem a biblioteca Farol como um lugar em que possam obter informações que não estejam atreladas ao estudo. É necessário rever este aspecto já que servir de centro de informações para a comunidade do bairro de município beneficiado constitui um dos objetivos específicos e isso poderia acontecer com projetos específicos voltados para esse público, sendo realizados com periodicidade regular e incluídos no calendário fixo das atividades.

O acervo tem atendido às necessidades informacionais do usuário, que o considera atualizado e em bom estado de conservação. Sabe-se que este é um item de suma importância uma vez que o mesmo deve estar voltado a permear o ensino-aprendizagem, além de possibilitar o desenvolvimento do prazer pela leitura, e, dessa forma, a biblioteca se transformar numa instituição formadora de leitores.

As atividades e serviços não têm obtido um bom índice de participação, uma vez que, dos frequentadores, apenas 33,3% são envolvidos nas atividades, ao passo que mais da metade, 67,7%, não participam. O que se verifica ser uma realidade também, encontrada na Biblioteca Comunitária do bairro estudado, uma vez que os sujeitos pesquisados não fazem menção a esta como uma biblioteca atuante. Diante de tal fato, é conveniente sugerir que haja uma reunião de esforços entre bibliotecas, a fim de resguardar a essência de suas funções.

Observa-se ainda que as atividades mais participadas são infantis, o que se coaduna com as respostas dos usuários que afirmaram ser esse o motivo de não participarem.

Concernente à participação nas atividades, observa-se a necessidade de um redimensionamento destas atividades para que esse segmento venha a ser alcançado com maior abrangência. Sendo envolvido nessas atividades, o segmento juvenil poderá estar sendo preparado para desenvolver as habilidades de busca e uso de informação que facilitam a aprendizagem permanente. Nesse prisma, pode-se considerar como um dos motivos mais importantes para que essas atividades venham a ser melhor exploradas por esse público o fato de que todos os participantes das atividades se sentiram motivados a buscar novas leituras, e:

Quanto à sua função educacional, ao proporcionar benefícios aos estudos dos usuários frequentadores, o Farol cumpre um de seus objetivos, que é o de contribuir para a melhoria do processo ensino/aprendizagem nas escolas do bairro ou município envolvida. E, nesse contexto, torna-se, um local de estímulo e motivação para a leitura como instrumento de aprendizagem.

Na visão dos pesquisados, o item atendimento, no que trata quantidade recepção e orientação, está correspondendo de forma satisfatória as necessidades dos usuários. Concernente a isso, é necessário salientar que o atendimento do Farol é realizado por estagiários de Biblioteconomia e áreas afins, como pedagogia, Letras e Artes, sendo apenas supervisionado por um bibliotecário, o que poderia ser revisto nas políticas formadoras da Secretaria estadual de educação, uma vez que as Bibliotecas escolares Farol da Educação se constituem como campo de atuação para o profissional bibliotecário. Nesse caso, a abertura de concurso público, ou mesmo a efetivação de contrato, abriram um importante espaço para a atuação profissional, visto a relevância como enquanto biblioteca e o número total das Bibliotecas Farol da Educação já que chega a ser 49 com previsão de 50 para serem inauguradas.

Contudo, nessa reflexão não se desconsidera o papel do estagiário, que continuava a auxiliar o técnico nos serviços e atividades, tendo assim também espaço para colocar em prática os conhecimentos teóricos e aprender.

No que se refere à comunidade, objeto de nosso estudo, nota-se que tem estado presente na vida dos comunitários, mudando o comportamento da população, conscientizando-a da importância da aquisição de conhecimento e da leitura.

Conclui-se, portanto, mediante referencial teórico e resultados da pesquisa, que a Biblioteca Farol da Educação é uma ideia que tem dado certo. Desde a sua implantação tem evoluído não quantitativa, mas qualitativamente.

Suas diretrizes e parâmetros têm buscado alcançar os verdadeiros objetivos traçados para a Biblioteca Escolar e tem se tornado para aqueles que a frequentam assiduamente o local de encontro com o prazer de ler, conhecer, informar-se.

A contribuição educacional da Biblioteca escolar Farol da Educação tem permeado mudanças no comportamento da população do bairro, a prática da leitura tem sido estabelecida, o interesse pelos estudos tem crescido conforme os próprios comunitários declaram.

Diante disso, arrisca-se afirmar que esses indivíduos poderão vir a se tornar pessoas conscientes dos seus reais direitos e deveres na sociedade, sendo agentes de transformação social de sua realidade e do mundo que o circunda.

Não se pode considerar que tudo seja perfeito, há aspectos que necessitam ser melhorados, como já mencionado anteriormente. Segmentos da comunidade carecem ser envolvidos. O lado social da Biblioteca escolar Farol da Educação precisa se expandir e abranger indivíduos que necessitam de informações não apenas centrada no ensino-aprendizagem, mas também informações utilitárias, como saúde preventiva da mulher, estatuto do idoso, prevenção às IST e HIV entre outros, para que, dessa forma, a Biblioteca escolar Farol da Educação possa continuar sendo, além de um centro do fazer educativo um Centro de Informação para a comunidade do bairro ou município beneficiado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Zélia. A biblioteca na sala de aula. **Presença Pedagógica**, Belo Horizonte, v. 5, n. 25, p. 22 – 31, jan./fev. 1999.

AMATO, Miriam. A biblioteca na escola. In: NERY, Alfredina (Org.). **Biblioteca escolar: estrutura e funcionamento**. São Paulo: Edições Loyola, 1989, p. 11 – 23.

ANDRADE, Araci Isaltina de; BLATTMANN, Úrsula. **Atividades de incentivo à leitura em bibliotecas escolares**. Florianópolis: [s.n.], [199-?]. Disponível em: <<http://www.ced.ufsc.br/~ursula/papers/leitura.html>>. Acesso em: 15 fev. 2003.

ANDRADE, Maria Eugênia Albino. A biblioteca faz a diferença. In: CAMPELLO, Bernadete Santos *et al.* **A biblioteca escolar**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002, p. 13 – 17.

CALIXTO, José Antônio. O perfil profissional e a educação do bibliotecário escolar. In: _____. **A Biblioteca Escolar**. Lisboa: Caminho, 1996, p. 135 – 147.

CAMPELLO, Bernadete. A competência informacional na educação para o século XXI. In: CAMPELLO, Bernadete Santos *et al.* **A biblioteca escolar**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002, p. 13 – 17.

CURITIBA. Secretaria Municipal da Educação. **Proposta de implantação das Bibliotecas Farol do Saber: estrutura e funcionamento**. Curitiba, 1994, 22 p.

DELORS, *et al.* **Educação: um tesouro a descobrir**. 6. ed. São Paulo: Cortez; Brasília: MEC: UNESCO, 2001.

FIGUEIREDO, Nice Menezes de. **Estudo de uso e usuários da informação**. Brasília: IBICT, 1994, 154 p.

FRAGOSO, Graça Maria. Biblioteca escolar – profissão e cidadania. **Revista ACB Biblioteconomia em Santa Catarina**, Florianópolis, v. 7, n. 1 e 2, p. 240-250, jan/dez/2002. Disponível em: <<http://gocities.yahoo.com.br/grafragoso/textosfragoso.html>>.

_____. Casas de livros de simplesmente... bibliotecas. **Presença Pedagógica**. Belo Horizonte, v. 2, n. 9, p. 52 – 57, mai/jun, 1996. Disponível em: <<http://textos/casas.html>>. Acesso em: 14 fev. 2004.

_____. Biblioteca na escola. **Revista ACB Biblioteconomia em Santa Catarina**. Florianópolis, v. 7, n. 1 e 2, p. 124 - 131, jan/dez/2002.

FURTADO, Cássia. **Sociedade da informação e a educação brasileira no sistema educacional da sociedade da informação**. 2000. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) – Universidade de Brasília, São Luís, 2000.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

GUIMARÃES, Maria Lúcia dos Santos. Práticas de leituras no contexto escolar. **Infociência**, São Luís, v. 1, p. 73-84, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de informação por setor censitário – São Luís**. Rio de Janeiro, 2002. 1 CD-ROOM.

KUHLTHAU, Carol. **Como usar a biblioteca da escola: um programa de atividades para o ensino fundamental**. Belo Horizonte: Autêntica, 2000, 30 p.

MANIFESTO DA UNESCO SOBRE AS BIBLIOTECAS ESCOLARES. Disponível em: <<http://www.apbad.pt/pmanifbibescol.html>>. Acesso em: 14 fev. 2004.

MARANHÃO. Secretaria do Estado da Educação. **Biblioteca Farol da Educação: uma alternativa para as bibliotecas escolares no Maranhão**. São Luís, 1996, 19 p.

MARTINS, Leoneide M. Brito. **Prática de leitura no Curso de Biblioteconomia da UFMA:** uma análise no processo de leitura e suas implicações no desenvolvimento do ensino aprendizagem. 1998. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 1998.

MILANESI, Luis. **A casa da Invenção:** biblioteca centro de cultura. 3. ed. São Paulo: ateliê editorial, 1997, 271 p.

MODELO Flexível para um sistema nacional de bibliotecas escolares. Brasília: [s.n.], 1985, 283 p.

NERY, Alfredina et. Al. **Biblioteca escolar:** estrutura e funcionamento. São Paulo: Edições Loyola, 1989, 108 p.

PÁDUA, Elisabete Matallo Marchesini de. **Metodologia da pesquisa:** abordagem teórico-prática. 6. ed. ver. e ampl. Campinas: Papirus, 2000, 120p.

PAÇO DO LUMIAR. Secretaria Municipal de Qualidade de Vida. **Dados censitários da FUNASA no município de Paço do Lumiar**, 2003.

SILVA, Ezequiel Theodoro. Biblioteca escolar: quem cuida? *In:* NERY, Alfredina (Org.). **Biblioteca escolar:** estrutura e funcionamento. São Paulo: Edições Loyola, 1989, p. 27 – 33.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL LEISHMANICIDA DE *Amphilophium elongatum*

Fabília Petrolini de Sena do Nascimento
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Viviani Motta Ferreira
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Sarah Cristina Andrade Silva
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Osvaine Júnior Alvarenga
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Matheus Henrique Marques Zago
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Valéria Maria Melleiro Gimenez
Universidade de São Paulo (USP)

Wilson Roberto Cunha
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Márcio Luís Andrade e Silva
Universidade de Franca (UNIFRAN)

Lizandra Guidi Magalhães
Universidade de Franca

Patrícia Mendonça Pauletti
Universidade de Franca (UNIFRAN)

RESUMO

Este estudo objetivou a caracterização química das folhas de *Amphilophium elongatum* (Bignoniaceae) e a avaliação da atividade leishmanicida. O estudo químico do extrato foi realizado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplada a Espectrometria de Massas de Alta Resolução e detector de Arranjo de Diodos (HPLC-HRMS-DAD), cromatografia em coluna e a identificação da estrutura química das substâncias isoladas foi realizada por Ressonância Magnética Nuclear (RMN). A atividade leishmanicida foi verificada nas formas promastigotas de *Leishmania amazonensis*. Os dados HPLC-HRMS-DAD permitiram anotar no extrato as substâncias: pectolinarina, linarina, hiperina, luteolina, diosmetina, cirsimarina, 7-metil apigenina, ácido pomólico, ácido ursólico, ácido oleanólico, conandrosídeo e ácido quínico. A partição líquido-líquido do extrato etanólico das folhas resultou nas frações hexânica (FH), acetato de etila (FA) e hidrometanólica (FH). A fração FA após várias etapas de purificação forneceu as substâncias: ácido ursólico, ácido oleanólico, cirsimarina e 7-metil apigenina. O extrato etanólico das folhas demonstrou atividade leishmanicida causando $65,10 \pm 15,02$ % de lise dos parasitas a $50 \mu\text{g/mL}$ e a fração FA apresentou atividade leishmanicida com $\text{IC}_{50} 15,11 \pm 2,17 \mu\text{g/mL}$. Conclui-se que este estudo ampliou o conhecimento químico e biológico de *A. elongatum*.

Palavras-chave: *amphilophium*; bignoniaceae; fitoquímica; *leishmania*.

INTRODUÇÃO

As leishmanioses são um grupo de doença parasitária negligenciada, debilitante e potencialmente fatal, causada por espécies do protozoário *Leishmania* sp. Este gênero de parasitas unicelulares e flagelados pertence à ordem Kinetoplastida e a família Trypanosomatidae, podendo infectar tanto humanos quanto animais. A transmissão dos parasitas ocorre por meio da picada das fêmeas de flebotomíneos, que injetam as formas promastigotas do parasita. Estas são fagocitadas pelos macrófagos, onde se transformam em amastigotas e se multiplicam. Assim, quando o flebotomíneo pica uma pessoa infectada, ele se contamina, e as formas amastigotas se transformam em promastigotas no intestino médio do inseto. Esses promastigotas se multiplicam e migram para as partes bucais do flebotomíneo, sendo novamente injetados ao picar uma nova pessoa, completando o ciclo biológico (Ullah *et al.*, 2016; Blanco e Nascimento-Júnior, 2017).

As manifestações clínicas variam conforme a espécie do parasito e a resposta imune do hospedeiro, sendo classificadas em três formas principais: a leishmaniose cutânea (LC), a leishmaniose visceral (LV) e a leishmaniose muco cutânea (LMC). A LC é a forma mais comum da doença, enquanto a LV é a mais grave, e a LMC é a mais incapacitante. Estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas vivam em áreas endêmicas para a doença, com cerca de 30.000 novos casos de LV e 1 milhão de casos de LC registrados anualmente (Majoor *et al.*, 2025; Organização Mundial da Saúde, 2025).

No Brasil, a leishmaniose é um problema significativo de saúde pública, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, onde as condições sanitárias precárias favorecem a difusão da doença (Brasil, 2017).

Os fármacos mais prescritos no tratamento de leishmanioses são os anti-moniais pentavalentes, que apresentam taxas de cura de 60% a 90%. No entanto, devido à sua toxicidade, devem ser utilizados com cautela em idosos, cardiopatas e nefropatas (Brasil, 2017). Os fármacos de primeira escolha no tratamento da leishmaniose são a *N*-metilglucamina (Glucantime®), e o estibogluconato de sódio (Pentostam®), que, apesar de sua eficácia limitada, têm grande toxicidade e apresentam casos frequentes de falha terapêutica, especialmente em

pacientes imunodeprimidos e quando o tratamento é interrompido devido aos efeitos colaterais (Brasil, 2017; Majoor *et al.*, 2025).

Como alternativas em casos de resistência, a pentamidina e a anfotericina B são utilizadas, embora apresentem maior toxicidade e custos elevados. A pentamidina, por exemplo, pode ser fatal devido à sua alta toxicidade, com efeitos adversos como hipoglicemia, hipotensão, alterações cardiológicas e nefrotoxicidade (Pradhan *et al.*, 2022). A anfotericina B, um antifúngico que tem uma alta taxa de cura para a leishmaniose, atua nas formas promastigotas e amastigotas (Oliveira *et al.*, 2018; Majoor *et al.*, 2025).

A miltefosina, um fármaco anticâncer aprovado na Índia em 2002, primeiro medicamento oral para leishmaniose visceral e cutânea, enquanto os tratamentos anteriores são injetáveis (Dorlo *et al.*, 2012). Com a resistência aos antimoniais pentavalentes, a miltefosina e a anfotericina B têm sido cada vez mais utilizadas (Rees *et al.*, 2019).

Amphilopium elongatum (Vahl) L.G.Lohmann, sinónimoia *Distictella elongata* (Vahl) Urb., é uma planta da família Bignoniaceae, que possui estudos prévios descritos. Nestes trabalhos anteriores foram identificadas substâncias como as flavonas pectolinarina e linarina, os ácidos ursólico, oleanólico e pomólico, além do β -sitosterol. O extrato etanólico das folhas demonstrou atividade antiviral em herpes vírus humano tipo 1 e vírus da dengue tipo 2, esta atividade foi atribuída à presença de flavonoides (Simões *et al.*, 2011, 2013). O extrato clorofórmico das raízes levou à identificação de uma naftoquinona. Este extrato inibiu o crescimento de células de melanoma (SK-MEL) e carcinoma de ovário (SK-OV-3), embora a naftoquinona isolada tenha se mostrado inativa (Bedir *et al.*, 2009).

Nesse contexto, produtos naturais surgem como uma fonte promissora para a pesquisa de novos agentes antileishmania, podendo servir como base para o desenvolvimento de terapias novas (AMIN *et al.*, 2016; Calixto JUNIOR *et al.*, 2016; Ullah *et al.*, 2016; Worku *et al.*, 2024). Assim, os objetivos deste trabalho foram a caracterização química do extrato etanólico das folhas de *A. elongatum* e a avaliação da atividade leishmanicida do extrato e frações.

MATERIAL E MÉTODOS

Geral

As análises por HPLC foram realizadas em Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência de sistema binário SHIMADZU Prominence LC-20AD equipados com um módulo de comunicação modelo CBM-20A, “degasser” DGU-20A5, detector DAD modelo SPD-M20A e injetor automático SIL-20A. Os dados foram adquiridos em computador e usando programa Lcsolution. As amostras foram analisadas em coluna Luna C18 (Phenomenex, 250 × 4,6 mm, 5 µm).

As análises de HPLC-HRMS com o extrato bruto foram realizadas no microTOF Q II - ESI-TOF Mass Spectrometer da Bruker Daltonics, acoplado a um HPLC-DAD SHIMADZU Prominence LC-20AD. Os dados de ESI-HRMS foram obtidos usando os parâmetros: voltagem do capilar 3,5 kV, temperatura de secagem 220 °C, gás nebulizador 60 psi, gás de secagem 10 L/min e faixa de massa 50–1300 Da. O nitrogênio foi usado na secagem, nebulização e na colisão. As análises foram processadas usando o programa Bruker Daltonics Data Analysis 4.3. A condição analítica usada na análise de HPLC-HRMS foi gradiente linear MeOH-H₂O (0,1% HÁc.) (5%→100%) em 35 minutos, 100% MeOH por 10 minutos, 5 min para retornar à condição inicial e 15 min de equilíbrio, volume de injeção 20 µL e fluxo 1,0 mL/min (ANDRADE *et al.*, 2022).

Os padrões usados no estudo foram quercetina (Sigma-Aldrich), rutina (Sigma-Aldrich), ácido oleanólico (Sigma-Aldrich), ácido ursólico (Sigma-Aldrich), apigenina-6-C-β-d-glucopiranosídeo, hiperina, kaempferol-3,7-O-α-l-ramnosídeo, conandrosídeo, 6-hidroxiluteolina-7-O-β-glicosídeo, 5-O-cafeoil quinico, luteolina, kaempferol, disometina, apigenina, cirsimaritina e 7-metil apinenina. Os outros padrões foram isolados previamente pelo nosso grupo de pesquisa.

Os espectros de Ressonância Magnética Nuclear de ¹H, ¹³C, experimentos 2D e DEPT das substâncias isoladas foram obtidos nos espectrômetros Bruker Advance DRX 400 e/ou 500. Os espectros das substâncias foram registrados com solventes deuterados: CDCl₃ e CD₃OD da marca Sigma-Aldrich.

Material vegetal

As folhas de *Amphilophium elongatum* (Vahl) L.G.Lohmann foram coletadas em novembro de 2013 na Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antônio- São Paulo, pela botânica Dra. Valéria M Melleiro Gimenez. A exsicata do material vegetal (HRCB 63383) foi depositada no Herbário Rioclarense/UNESP - Rio Claro.

Estudo químico

As folhas foram secas em estufa (45°C), moídas em moinho e o material vegetal foi extraído por maceração com etanol PA, com três repetições, à temperatura ambiente. O material foi filtrado e concentrado em rotaevaporador, fornecendo 31 g de extrato bruto.

O extrato etanólico (30 g) foi dissolvido em metanol-água (8:2 v/v, 750 mL) e fracionado por partição líquido-líquido com os solventes *n*-hexano e acetato de etila. Cada fase foi concentrada em rotaevaporador e foram obtidas as frações: hexânica (5,3 g), acetato de etila (14,8 g) e hidrometanólica (11,0 g).

Uma parte da fração acetato de etila (5,4 g) foi submetida à extração em fase sólida usando gradiente de metanol-água como fase móvel. Neste processo foram obtidas quatro subfrações. A subfr-3 (MeOH-H₂O 70:30 v/v, 0,7 mg) foi aplicada em cromatografia de coluna de sílica gel (230-400 mesh) e fase móvel gradiente de diclorometano-metanol. A subfração subfr-3 (12-24) (85 mg) resultou no isolamento dos flavonoides cirsimarina (1, 31 mg) e 7-metil apigenina (2, 28 mg), após cromatografia em camada delgada preparativa e fase móvel clorofórmio-metanol (95:5 v/v).

A subfr-4 foi submetida a uma cromatografia em coluna de Sephadex LH-20 e metanol como fase móvel e resultou no isolamento de uma mistura do ácido ursólico e oleanólico (40 mg) na subfr-4-(26-30).

Avaliação Biológica

Os parasitas da cepa *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* (IFLA/BR/67/PH8) foram mantidos *in vitro* em meio RPMI 1640 (Gibco - Waltham) suplementado com 10% de soro bovino fetal (SBF) (Cultilab) inativado e 10.000

U/mL de penicilina (Cultilab), 10.000 µg/mL de estreptomicina (Cultilab), pH 7,4 a 25 °C em estufa BOD (Quimis). O meio de cultura foi trocado a cada dois dias, e a partir do sexto dia de cultivo (início da fase estacionária) as formas promastigotas foram coletadas no sobrenadante. O ensaio foi realizado segundo metodologia descrita por Alves *et al.*, 2023.

Resumidamente, cerca de 1×10^6 parasitas foram cultivados em placas de 96 poços contendo o mesmo meio descrito anteriormente. As amostras dissolvidas em dimetilsulfóxido foram adicionadas nas culturas em concentrações de 100, 50, 25 e 12,5 µg/mL ou µM e foram incubadas a 25°C em estufa BOD (Quimis) por 24 horas e a viabilidade das formas promastigotas foi determinada pela contagem em câmara de Neubauer (Glass), do número total de promastigotas vivas, levando-se em consideração a motilidade flagelar.

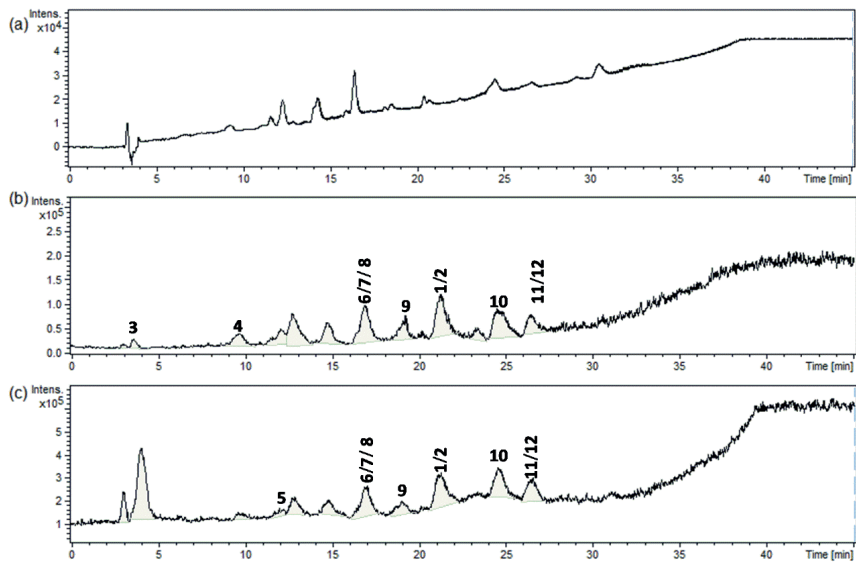
Como controle negativo foi utilizado meio RPMI 1640 (Gibco) contendo 0,1 % de DMSO e como controle positivo utilizou-se parasitas cultivados com anfotericina B na concentração de 1 µM. Os resultados foram expressos como a média da porcentagem da inibição da motilidade em relação ao controle negativo (0,1% DMSO). Foram realizados três experimentos independentes em triplicata. O valor de concentração inibitória 50% (IC₅₀) foi determinado por meio de curvas de regressão não-linear utilizando o software GraphPad Prism versão 5.0 para Windows.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudo químico

O extrato etanólico de *A. elongatum* foi analisado por HPLC-DAD-HRMS com detecção UV (200-800 nm), no modo negativo e positivo de ionização (Figura 1a, b e c). O cromatograma UV-Vis revelou treze picos, enquanto os cromatogramas de íons totais indicaram onze e doze bandas cromatográficas nos modos positivo e negativo, respectivamente.

Figura 1. Cromatogramas do extrato bruto das folhas de *Amphilophium elongatum* (a) UV 200-800 nm, (b) íons totais no modo negativo e (c) íons totais no modo positivo. Condições cromatográficas: gradiente linear metanol/água (+ 0,1% ácido acético) de 5 a 100% metanol em 35 min e 100% metanol por 10 min. Fluxo 1,0 mL/min. 1 cirsimarina, 2 7-metil apigenina, 3 ácido quínico, 4 conandrosídeo, 5 hiperina, 6 pectolinarina, 7 linarina, 8 luteolina, 9 diosmetina, 10 ácido pomólico, 11 ácido ursólico e 12 ácido oleanólico.



A obtenção das fórmulas moleculares foi realizada a partir dos valores de *m/z* obtidos considerando valores com erro inferior a 5 ppm (Tabela 1).

Tabela 1. Análise por HPLC-HRMS do extrato bruto de *Amphilophium elongatum*.

tR (min)	m/z	ion	Fórmula sugerida	Tentativa de identificação	Erro ppm	Ref.
3,7	191,0557	[M-H] ⁻	C ₇ H ₁₀ O ₆	ác. quínico (3)	-0,41	De Oliveira <i>et al.</i> , 2016
9,7	609,1821	[M-H] ⁻	C ₂₈ H ₃₅ O ₁₅	Conandrosídeo (4)	-0,39	a
12,1	465,1017	[M+H] ⁺	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₂	Hiperina (5)	-1,05	a
17,0	621,1810	[M-H] ⁻	C ₂₉ H ₃₃ O ₁₅	Pectolinarina (6)	-1,49	Simões <i>et al.</i> , 2013
	623,1998	[M+H] ⁺	C ₂₉ H ₃₅ O ₁₅		2,75	
	591,1711	[M-H] ⁻	C ₂₈ H ₃₁ O ₁₄	Linarina (7)	-0,83	Simões <i>et al.</i> , 2011
	593,1887	[M+H] ⁺	C ₂₈ H ₃₃ O ₁₄		2,22	
	285,0394	[M-H] ⁻	C ₁₅ H ₉ O ₆	Luteolina (8)	-1,06	a
	287,0572	[M+H] ⁺	C ₁₅ H ₁₁ O ₆		2,19	
19,1	299,0526	[M-H] ⁻	C ₁₆ H ₁₁ O ₆	Diosmetina (9)	-3,51	a
	301,0713	[M+H] ⁺	C ₁₆ H ₁₃ O ₆		0,64	

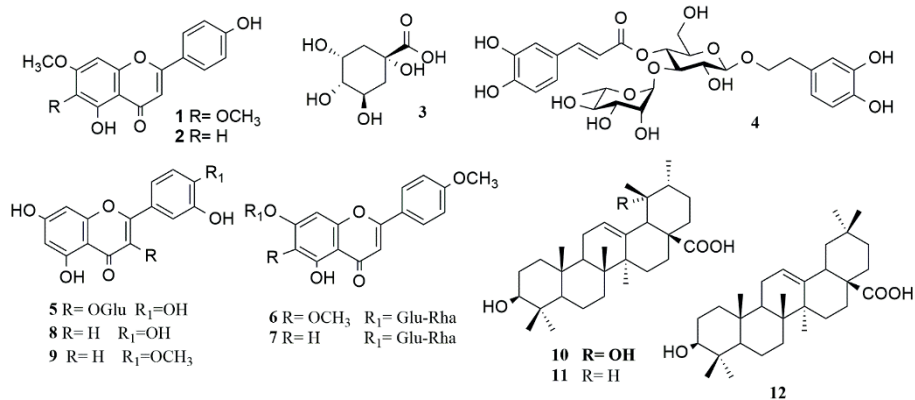
tR (min)	m/z	ion	Fórmula sugerida	Tentativa de identificação	Erro ppm	Ref.
21,3	283,0590	[M-H] ⁻	C ₁₆ H ₁₁ O ₅	7-metil apigenina (2)	-2,20	b
	285,0764	[M+H] ⁺	C ₁₆ H ₁₃ O ₅		0,65	
	313,0703	[M-H] ⁻	C ₁₇ H ₁₃ O ₆	Cirsimaritina (1)	-1,46	b
	315,0865	[M+H] ⁺	C ₁₇ H ₁₅ O ₆		0,19	
24,6	471,3461	[M-H] ⁻	C ₃₀ H ₄₇ O ₄	ác. pomólico (10)	-1,88	Simões <i>et al.</i> , 2013
	473,3635	[M+H] ⁺	C ₃₀ H ₄₉ O ₄		0,96	
26,4	455,3508	[M-H] ⁻	C ₃₀ H ₄₇ O ₃	Ác. ursólico (11)/ oleanólico (12)	-2,27	Simões <i>et al.</i> , 2013
	457,3691	[M+H] ⁺	C ₃₀ H ₄₉ O ₃		1,48	

a identificado pela comparação com padrão

b identificado pelo isolamento e dados de RMN

Na sequência as fórmulas moleculares foram pesquisadas nas bases de dados Dictionary of Natural Products (DNP), SciFinder e em artigos publicados sobre a família Bignoniaceae e o gênero *Amphilophium* o que permitiu a anotação de doze substâncias (Figura 2).

Figura 2. Estrutura química das substâncias identificadas do extrato etanólico das folhas de *Amphilophium elongatum* por HPLC-HRMS-DAD, RMN e padrões autênticos.



1 cirsimaritina, **2** 7-metil apigenina, **3** ácido quínico, **4** conandrosídeo, **5** hiperina, **6** pectolarina, **7** linarina, **8** luteolina, **9** diosmetina, **10** ácido pomólico, **11** ácido ursólico e **12** ácido oleanólico.

A identificação da cirsimaritina e 7-metil apigenina foi corroborada pelo isolamento e análise dos dados de RMN em comparação com os dados disponíveis na literatura (Liu *et al.*, 1992; Tan *et al.*, 2015). Além disso, substâncias como ácido quínico (tR = 3,7 min), pectolarina (tR = 17,0 min), linarina (tR =

17,0 min), ácido pomólico (tR = 24,6 min), ácido ursólico (tR = 26,4 min) e ácido oleanólico (tR = 26,4 min) já haviam sido relatadas em espécies de Bignoniaceae (*Adenocalymma imperatoris-maximiliani*, *A. axillarum* e *A. elongatum*) (De Oliveira *et al.*, 2016; Andrade *et al.*, 2022; Simões *et al.*, 2011; 2013). A comparação com padrões comerciais e substâncias isoladas pelo grupo de pesquisa permitiu confirmar a presença de conandrosídeo (tR = 9,7 min), hiperina (tR = 12,1 min), luteolina (tR = 17,0 min) e diosmetina (tR = 19,1 min), compostos que já foram previamente isolados em espécies de Bignoniaceae (Bertanha *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2022)

Estudo biológico

O extrato etanólico das folhas de *A. elongatum* (EEF) foi avaliado nas formas promastigotas de *L. amazonensis*, apresentando $65,10 \pm 15,02$ % de lise dos parasitas na concentração de 50 µg/mL em 24h (Tabela 2). Devido à atividade promissora, o extrato etanólico foi submetido à partição líquido-líquido, gerando as frações hexânica (FH), acetato de etila (FA) e hidrometanólica (FH), testadas na mesma concentração.

Tabela 2. Atividade leishmanicida do extrato bruto das folhas de *A. elongatum* e frações nas formas promastigotas de *Leishmania amazonensis*.

Amostras	% de lise [Média ± DPR] 50 µg/mL
EEF	65,10 ± 15,02
FH	61,07 ± 7,10
FA	100 ± 0,00
FH	69,55 ± 1,47
Anfotericina Ba	100,00 ± 0,00

DPR: desvio padrão relativo, EEF= extrato etanólico das folhas, FH= fração hexânica, FA= fração acetato de etila, FH= fração hidrometanólica
aAnfotericina B foi testada a 1,56 µM

A fração FA foi avaliada em diferentes concentrações (Tabela 3), resultando em IC50 de $15,11 \pm 2,17$ µg/mL, que foi classificada como ativa segundo parâmetros estabelecidos por Lima *et al.*, 2012. A fração FA mostrou os melhores resultados, sugerindo que as substâncias responsáveis possuem características de moléculas de média polaridade.

Tabela 3. Atividade leishmanicida da fração acetato de etila (FA) de *A. elongatum* nas formas promastigotas de *L. amazonensis*.

FA	Concentrações [µg/mL]					
% de lise	100	50	25	12,5	6,25	3,12
	100,0	100,0	97,27	47,27	26,36	11,82
	100,0	99,09	83,64	36,36	30,91	12,73
	100,0	100,0	90,00	42,73	23,64	1,82
Media ± DPR	100,0 ± 0,0	99,70 ± 0,52	90,30 ± 6,82	42,12 ± 5,48	26,97 ± 3,67	8,79 ± 6,05

^aAnfotericina B foi testada a 1,56 µM (100,00 ± 0,00 % de lise)

Os flavonóides isolados da subfr-3, incluindo cirsimaritina e 7-metil apigenina, em estudos anteriores de Tasdemir *et al.* (2006) apresentaram IC50 de 3,9 µg/mL e 9,4 µg/mL em formas amastigotas de *L. donovani*, respectivamente. Além disso, outras flavonas metoxiladas apresentaram IC50 de 37,0 µg/mL em *L. amazonensis* (Beer *et al.*, 2016), reforçando o potencial da classe para futuros estudos.

CONCLUSÃO

Neste estudo foi relatado pela primeira vez a atividade leishmanicida do extrato etanólico das folhas de *A. elongatum*. A análise química do extrato por HPLC-HRMS-DAD, possibilitou a anotação de substâncias, na sua maioria pertencentes aos flavonoides e triterpenos.

Quanto aos resultados de atividade biológica, o extrato etanólico demonstrou um potencial promissor na avaliação da atividade leishmanicida, e a fração acetato de etila exibiu melhora nesta bioatividade. O estudo dessa fração permitiu isolar dois flavonoides, cirsimaritina e 7-metil apigenina, já conhecidos por sua ação leishmanicida.

Este trabalho contribui para expandir o conhecimento químico da espécie em questão, bem como de suas atividades biológicas. Os dados obtidos são de grande relevância, pois abrem novas perspectivas para o desenvolvimento de pesquisas futuras, especialmente considerando que os medicamentos disponíveis para o tratamento da leishmaniose são limitados e frequentemente apresentam efeitos colaterais.

Agradecimentos

Este estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo no. 2016/10313-4 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo no. 303174/2021-8.

REFERÊNCIAS

Alves, O. J. A. *et al.* HPLC method for quantifying verbascoside in *Stizophyllum perforatum* and assessment of verbascoside acute toxicity and antileishmanial activity. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1324680, 2023.

AMIN, E. *et al.* Biologically guided isolation of leishmanicidal secondary metabolites from *Euphorbia peplus* L. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 25, n. 2, p. 236-240, 2016.

Andrade, J. P. C. *et al.* Chemical study of *Adenocalymma axillarum* crude leaf extract and isolated compounds. *Brazilian Journal Pharmaceutical Science*, v. 58, p. e20278, 2022.

BEDIR, E. *et al.* A new β -Lapachone derivative from *Distictella elongate* (Vahl) Urb. **Journal of Brazilian Chemical Society**. v. 20, n. 2, p. 383-386, 2009.

BEER, M. F. *et al.* Trypanocidal and leishmanicidal activities of flavonoids isolated from *Stevia satereiifolia* var. *satereiifolia*. **Pharmaceutical Biology**, v. 54, n. 10, p. 2188-95, 2016.

BERTANHA, C. S. *et al.* Isolation, *in vitro* and *in silico* Evaluation of Phenylethanoid Glycoside from *Arrabidaea brachypoda* as Lipoygenase Inhibitor. **Journal of Brazilian Chemical Society**, v. 31, n. 4, p. 849-855, 2019.

BLANCO, V. R.; NASCIMENTO-JÚNIOR, N.M. Leishmaniose: aspectos gerais relacionados com a doença, o ciclo do parasita, fármacos disponíveis, novos protótipos e vacinas. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 861-876. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de vigilância da leishmaniose tegumentar**. Brasília-DF: Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. *Manual de vigilância da leishmaniose tegumentar*. Brasília-DF: Ministério da Saúde, 2017.

Calixto Júnior, J. T., *et al.* Phenolic composition and antiparasitic activity of plants from the Brazilian Northeast "Cerrado" **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 3, p. 34-40, 2016.

de Oliveira, G. G. *et al.* Dereplication of Flavonoid Glycoconjugates from *Adenocalymma imperatoris-maximiliani* by Untargeted Tandem Mass Spectrometry-Based Molecular Networking. **Planta Medica**, v. 83, n. 7, p. 636-646, 2017.

DORLO, T. P. *et al.* Miltefosine: a review of its pharmacology and therapeutic efficacy in the treatment of leishmaniasis. **The Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 67, n. 11, p. 2576-2597, 2012.

LIMA, J. P. S. *et al.* In Vitro Antileishmanial and Cytotoxic Activities of *Annona mucosa* (Annonaceae). **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 6, p. 692-702, 2012.

Liu, Y. L. *et al.* Isolation of potential cancer chemopreventive agents from *Eriodictyon californicum*. **Journal of Natural Products**, v. 55, n. 3, p. 357-363, 1992.

Majoor, A. *et al.* Leishmaniasis: Strategies in treatment development. **Parasite**, v. 32, p. 18, 2025.

OLIVEIRA, V. M. *et al.* Black and white teas as potential agents to combine with amphotericin B and protect red blood cells from amphotericin B-mediated toxicity. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 4, p. 673-678, 2018.

Organização Mundial da Saúde. Leishmaniasis. 2025. Disponível em: < https://www.who.int/health-topics/leishmaniasis#tab=tab_1 > Acesso em: 23 mar. 2025.

PRADHAN, S. *et al.* Treatment options for leishmaniasis. **Clinical and Experimental Dermatology**, v. 47, n. 3, p. 516-521, 2022.

REES, C. A. *et al.* Neglected tropical diseases in children: An assessment of gaps in research prioritization. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 13, n. 1, p. e0007111, 2019.

SIMÕES, L. R. *et al.* Antiviral activity of *Distictella elongata* (Vahl) Urb. (Bignoniaceae), a potentially useful source of anti-dengue drugs from the state of Minas Gerais, Brazil. **Letters in Applied Microbiology**, n. 53, v. 6, p. 602-607, 2011.

SIMÕES, L. R. *et al.* Chemical constituents of *Distictella elongata* (Vahl) Urb. (Bignoniaceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 873-9, 2013.

Tan, C. X. *et al.* Activities of wogonin analogs and other flavones against *Flavobacterium columnare*. **Chemistry & Biodiversity**, v. 12, n. 2, p. 259-272, 2015.

TASDEMIR, D. *et al.* Antitrypanosomal and antileishmanial activities of flavonoids and their analogues: in vitro, in vivo, structure-activity relationship, and quantitative structure-activity relationship studies. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 50, n. 4, p. 1352-64, 2006.

ULLAH, N. *et al.* Plants as Antileishmanial Agents: Current Scenario. **Phytotherapy Research**, n. 30, v. 12, p. 1905-1925, 2016.

Worku, K. M. *et al.* Medicinal plants with promising antileishmanial activity in Ethiopia: A systematic review and meta-analysis. **Medicine (Baltimore)**, v. 103, n. 22, p. e38480, 2024.

CARCINOMA PAPILÍFERO RENAL AVANÇADO EM PACIENTE IDOSO COM MÚLTIPLAS COMORBIDADES: RELATO DE CASO

Robson Salaroli

Centro Universitário de Caratinga (UNEC)

Marlei Lage Camargo

Centro Universitário de Caratinga (UNEC)

RESUMO

O carcinoma papilífero de células renais é o segundo subtipo mais frequente entre os tumores renais malignos, com comportamento clínico variável e potencial para evolução localmente invasiva. Este trabalho descreve o caso de um paciente masculino, 71 anos, portador de neoplasia renal bilateral com lesão cística complexa (Bosniak IV) e estadiamento clínico cT4 N1 M0, diagnosticado por meio de biópsia guiada e imuno-histoquímica. O paciente apresentava histórico de doença renal crônica, hemodiálise recente, doença arterial obstrutiva periférica, obesidade mórbida e antecedente de acidente vascular cerebral, estando em condição funcional gravemente comprometida (ECOG 3). A evolução clínica foi marcada por sepse cutânea, anasarca e falência renal aguda, o que inviabilizou abordagens terapêuticas específicas como cirurgia ou imunoterapia. Após avaliação multidisciplinar, foi estabelecido tratamento paliativo exclusivo, com ênfase no alívio de sintomas e suporte familiar. Este relato visa discutir os critérios clínicos que norteiam a transição do cuidado curativo para o paliativo em oncologia, especialmente em contextos de fragilidade extrema, ressaltando a importância da conduta ética e da atuação integrada entre especialidades.

Palavras-chave: carcinoma papilífero renal; neoplasia renal avançada; cuidados paliativos; doença renal crônica; oncogeriatría.

INTRODUÇÃO

A neoplasia de células renais representa aproximadamente 2% a 3% de todas as neoplasias malignas em adultos, sendo o tipo histológico mais comum o carcinoma de células renais (CCR), que corresponde a cerca de 90% dos casos¹. Dentro deste grupo, o carcinoma papilífero de células renais (CPCR) é o segundo subtipo mais prevalente, representando entre 10% a 15% dos tumores renais malignos, conforme descrito pela World Health Organization (WHO) e validado por dados epidemiológicos do Instituto Nacional de Câncer (INCA)². No Brasil, a incidência de câncer renal tem se mantido relativamente estável nas últimas décadas, sendo estimados cerca de 7.000 novos casos anuais, com maior prevalência em homens e indivíduos acima dos 60 anos de idade³.

O carcinoma papilífero é histologicamente caracterizado pela presença de estruturas papilares e pode ser dividido em dois tipos principais: tipo 1, de comportamento mais indolente, e tipo 2, geralmente mais agressivo e associado a piores desfechos clínicos⁴. Este subtipo frequentemente cursa com multifocalidade, envolvimento bilateral dos rins e menor resposta a terapias-alvo convencionais em comparação ao carcinoma de células claras, que é a variante mais comum⁵.

Do ponto de vista terapêutico, o tratamento de escolha para neoplasias renais localizadas é a nefrectomia parcial ou radical, dependendo do tamanho, localização do tumor e condição funcional do paciente⁶. Entretanto, nos casos avançados ou metastáticos, como o relatado neste trabalho, o tratamento se baseia em terapia sistêmica, incluindo inibidores de tirosina quinase (como sunitinibe, pazopanibe), imunoterapia com inibidores de checkpoint imunológico (nivolumabe, pembrolizumabe) ou a combinação de ambas⁷. Para pacientes com estadiamento clínico IV (cT4 N1 M0) e status funcional ruim (ECOG $\geq$ 3), como no presente caso, as opções terapêuticas com intenção curativa tornam-se inviáveis, sendo indicados cuidados paliativos exclusivamente, com foco na qualidade de vida e controle de sintomas.

OBJETIVO

Relatar e analisar de forma aprofundada o caso clínico de um paciente idoso, diagnosticado com carcinoma papilífero de células renais em estágio

clínico avançado (cT4 N1 M0), com envolvimento bilateral e múltiplas comorbidades limitantes, que inviabilizaram qualquer abordagem curativa ou oncológica específica, culminando na indicação de cuidados paliativos exclusivos. Pretende-se, com este estudo, discutir os desafios diagnósticos e terapêuticos envolvidos em casos de neoplasias renais avançadas em pacientes com status funcional precário, além de destacar a importância da atuação multidisciplinar e da medicina paliativa no contexto da oncologia contemporânea. Ao apresentar a cronologia clínica, os exames realizados, os achados histopatológicos e a tomada de decisão terapêutica, o presente trabalho busca contribuir para a reflexão ética e técnica sobre os limites da intervenção médica em situações de grande complexidade clínica.

MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido a partir da análise documental minuciosa de um caso clínico real, registrado em prontuário eletrônico hospitalar, abrangendo o período de dezembro de 2023 a julho de 2024. Trata-se de um estudo de caso com abordagem qualitativa, de natureza descritiva, cujo objetivo foi compreender, organizar e interpretar as informações clínicas, laboratoriais, radiológicas e histopatológicas de forma cronológica e contextualizada.

Foram utilizados dados oriundos de evoluções médicas de diferentes especialidades (clínica médica, nefrologia, oncologia, cirurgia vascular e cuidados paliativos), laudos de exames de imagem (radiografia de tórax, ultrassonografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética), exames laboratoriais seriados, informações obtidas por meio de biópsia renal guiada por tomografia e posterior análise imuno-histoquímica.

Todos os dados clínicos foram anonimizados, respeitando os princípios éticos da confidencialidade e privacidade do paciente, conforme previsto nas Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos (Resolução CNS nº 466/12). As informações foram interpretadas com base em literatura técnico-científica atualizada, incluindo diretrizes da European Association of Urology (EAU), National Comprehensive Cancer Network (NCCN), World Health Organization (WHO) e dados epidemiológicos do Instituto Nacional de Câncer (INCA).

A escolha metodológica por um estudo de caso se justifica pela complexidade do quadro clínico abordado, que envolve múltiplas especialidades médicas, decisões terapêuticas delicadas e a interface entre oncologia e cuidados paliativos. O estudo busca, portanto, não apenas relatar o caso, mas promover uma análise crítica da condução clínica e das implicações bioéticas envolvidas.

RELATO DE CASO

Paciente do sexo masculino, 71 anos, natural e procedente de Minas Gerais, deu entrada em unidade hospitalar no início de dezembro de 2023 após ser transferido de outra instituição, onde se encontrava internado em Unidade de Terapia Intensiva. O quadro clínico motivador da transferência foi o agravamento do estado geral em um paciente portador de múltiplas comorbidades, que evoluía com sinais clínicos de sepse e descompensação multissistêmica. A história clínica tem início em 24 de novembro de 2023, quando o paciente sofreu um trauma no hálux direito após tropeçar em casa, resultando em lesão local com evolução para necrose seca distal. Nos dias seguintes, observou-se piora progressiva do quadro geral, com rebaixamento do nível de consciência, taquipneia, hipotensão e anasarca, culminando em transferência para UTI no dia 30 de novembro devido a sinais claros de sepse cutânea associada à gangrena do hálux direito, insuficiência renal agudizada sobre doença renal crônica pré-existente e sinais de insuficiência respiratória.

À admissão no novo hospital, em 01 de dezembro, o paciente encontrava-se em mau estado geral, com taquipneia, fala entrecortada e desorientação temporal e espacial. Utilizava oxigenoterapia por cateter nasal, apresentava cianose de extremidades e hipocorado (1+/4+). O exame físico revelou ausculta pulmonar com murmúrio vesicular abolido nas bases e presença de crepitações finas bibasais, abdome globoso e doloroso à palpação difusa, escroto com edema importante, e membros inferiores e superiores com edema duro, bilateral, em cacifo, associado a frialdade de extremidades e necrose distal do hálux direito. Os pulsos periféricos estavam ausentes em membros inferiores devido ao extenso edema. A hipótese diagnóstica inicial foi de síndrome edemigênica grave, com possível insuficiência cardíaca congestiva e insuficiência renal crônica agudizada, em associação a sepse cutânea. Os exames laboratoriais

confirmaram leucocitose com desvio à esquerda (17.000 leucócitos), creatinina de 5,2 mg/dL, ureia de 121 mg/dL, potássio de 5,1 mEq/L e acidose metabólica com pH de 7,32. A radiografia de tórax demonstrou áreas de hipotransparência bibasais, sugerindo congestão pulmonar ou pneumonia incipiente. Diante do quadro, optou-se por internação em terapia intensiva, onde foi instituído suporte clínico intensivo, incluindo antibioticoterapia de amplo espectro (meropenem e vancomicina, iniciados conforme protocolo de sepse), profilaxia para tromboembolismo venoso e suporte nefrológico conservador.

A equipe de Nefrologia foi acionada e confirmou o diagnóstico de doença renal crônica agudizada em paciente com histórico de uso crônico de furose-mida, enalapril e hidroclorotiazida.

Os exames de função renal demonstravam creatinina em 5,9 mg/dL e ureia de 146 mg/dL, com potássio em 5,44 mEq/L. Observou-se elevação expressiva de enzimas pancreáticas (amilase: 1543 U/L, lipase: 680 U/L), e aumento significativo do dímero D (11.018 ng/mL). Foi realizada ultrassonografia abdominal, que evidenciou uma massa heterogênea no rim esquerdo, de aproximadamente 10 cm, sem alterações hepáticas. A imagem foi considerada suspeita, com recomendação de complementação com tomografia computadorizada. O ecocardiograma realizado mostrou função sistólica preservada, com alterações degenerativas valvares e hipertensão pulmonar leve.

No dia 4 de dezembro, a tomografia computadorizada de abdome evidenciou uma formação nodular com densidade de partes moles no polo superior do rim esquerdo, bilobulada, com calcificações e componente exofítico, medindo 10,5 x 10,0 x 10,1 cm, sem planos de clivagem com a glândula adrenal adjacente. Além disso, havia linfonodomegalias retroperitoneais para-aórticas com até 1,0 cm. O rim direito apresentava cistos corticais, sendo o maior com 3,9 cm, contendo pequenas calcificações. O baço estava deslocado anteriormente pela massa renal, e havia densificação dos planos gordurosos peri-pancreáticos e retroperitoneais, além de discreto derrame pleural bilateral. Com base nos achados tomográficos, foi aventada a hipótese de tumor renal primário com provável comprometimento locorregional. A equipe de Oncologia foi acionada e indicou realização de ressonância magnética para melhor caracterização da lesão.

A ressonância magnética do abdome superior, realizada em 04 de fevereiro de 2024, demonstrou grande lesão expansiva predominantemente cística

no terço superior do rim esquerdo, com conteúdo heterogêneo, calcificações, áreas sólidas irregulares periféricas com restrição à difusão e realce heterogêneo por contraste, medindo 11,3 x 9,8 x 10,9 cm, classificada como Bosniak IV. Observou-se também coleção retroperitoneal à esquerda infiltrando o músculo psoas e linfonodomegalias retroperitoneais. No rim direito, identificou-se um cisto cortical complexo com nódulo mural de realce contrastado (Bosniak IV), além de outros cistos simples. O conjunto de achados reforçava fortemente a suspeita de neoplasia renal maligna, com provável envolvimento bilateral e retroperitoneal.

A biópsia guiada por tomografia foi realizada em maio de 2024, com envio de três fragmentos filiformes de tecido branco-amarelado. A análise anatomopatológica revelou neoplasia de padrão predominantemente tubular, com células oncocíticas. Exame imuno-histoquímico complementar favoreceu o diagnóstico de carcinoma papilífero de células renais. Em reunião multidisciplinar, foi definido o estadiamento clínico como cT4 N1 M0, agrupamento IV, em paciente com performance status ECOG 3 e sem condições clínicas para abordagem cirúrgica ou terapias oncológicas específicas. O tumor renal apresentava extensão além da cápsula renal e acometimento linfonodal retroperitoneal, sendo classificado como doença localmente avançada.

No contexto da fragilidade clínica importante, comorbidades relevantes (hipertensão arterial sistêmica, doença arterial obstrutiva periférica, doença renal crônica, obesidade mórbida e história prévia de AVC), e limitação funcional evidente, a equipe optou por tratamento exclusivamente paliativo. O paciente apresentava perda ponderal significativa (peso basal de 123 kg, atual 98,2 kg), deambulava com dificuldade e mantinha estado de alerta, porém com episódios de confusão. Os sinais vitais se mantinham estáveis em oxigenoterapia suplementar, e a função renal, embora ainda alterada, havia melhorado o suficiente para permitir alta da hemodiálise em janeiro de 2024.

Na primeira consulta oncológica formal, realizada em julho de 2024, foi consolidada a proposta de cuidados paliativos exclusivos. O paciente foi encaminhado para seguimento com a equipe de cuidados paliativos e recebeu orientações quanto ao prognóstico, limitações terapêuticas e plano de suporte, bem como seus familiares.

PROGNÓSTICO E ACOMPANHAMENTO

O prognóstico do paciente em questão é considerado reservado a desfavorável, dado o estágio avançado da doença, as múltiplas comorbidades associadas e o comprometimento funcional importante (classificação ECOG 3). O diagnóstico definitivo de carcinoma papilífero de células renais, estágio clínico cT4 N1 M0, agrupamento IV, implica em uma neoplasia localmente avançada com provável envolvimento de estruturas adjacentes e linfonodos retroperitoneais, ainda que sem metástases à distância evidentes até o momento dos últimos exames.

Além da extensão tumoral, o paciente apresentava histórico de doença renal crônica com agudizações sucessivas, necessitando de hemodiálise temporária, além de doença arterial obstrutiva periférica, obesidade mórbida, hipertensão arterial sistêmica e antecedente de acidente vascular cerebral isquêmico. Tais condições clínicas aumentam substancialmente o risco de complicações infecciosas, cardiovasculares e renais, além de limitarem drasticamente a possibilidade de intervenção cirúrgica, quimioterapia ou imunoterapia.

Diante deste cenário, e após avaliação multidisciplinar, optou-se por tratamento paliativo exclusivo, focado em controle de sintomas, qualidade de vida e suporte familiar. A proposta terapêutica foi amplamente discutida com o paciente e sua esposa, que foram informados sobre a gravidade da doença, o caráter irreversível da condição e a ausência de indicações clínicas para tratamentos oncológicos específicos.

O acompanhamento ambulatorial foi direcionado para a equipe de cuidados paliativos, com seguimento regular previsto pela oncologia clínica e suporte multidisciplinar contínuo. As condutas incluem controle rigoroso da dor, acompanhamento do estado nutricional, suporte psicológico e espiritual, prevenção de complicações infecciosas e ajustes medicamentosos com foco em conforto e bem-estar.

Embora o paciente estivesse, até a última atualização, estável do ponto de vista hemodinâmico e funcionalmente lúcido, a progressão natural da doença, associada à sua condição geral fragilizada, sugere um tempo de sobrevida limitado. O manejo do caso exemplifica a importância de reconhecer o momento adequado de transição do cuidado curativo para o cuidado paliativo, respeitando a autonomia do paciente e garantindo um fim de vida digno e assistido.

CONCLUSÃO

O caso clínico apresentado representa um exemplo emblemático dos desafios enfrentados na prática médica ao lidar com neoplasias malignas em pacientes idosos, com múltiplas comorbidades e limitada reserva funcional. O diagnóstico de carcinoma papilífero de células renais em estágio avançado (cT4 N1 M0), em um paciente com doença renal crônica, obesidade mórbida, doença arterial obstrutiva periférica, histórico de AVC e fragilidade clínica significativa (ECOG 3), impôs limitações substanciais às abordagens terapêuticas curativas.

Ao longo do acompanhamento, mesmo diante da confirmação histopatológica da neoplasia, evidenciou-se a impossibilidade de realização de nefrectomia, terapia sistêmica oncológica ou imunoterapia, devido ao elevado risco cirúrgico e toxicidade potencial. A opção por cuidados paliativos exclusivos foi tomada com base em princípios éticos de proporcionalidade terapêutica, autonomia do paciente e beneficência, visando preservar a qualidade de vida e controlar sintomas de forma humanizada.

REFERÊNCIAS

1. Giachini, E., Zanesco, C., Lima, J. F., Rossi, R. C., & de Resende, D. T. (2017). Neoplasia renal maligna: carcinoma de células renais. **Saúde.com**, 13(2), 850-854.
2. Assakawa, M. A. G. (2017). **Análise de mutação germinativa p. R337h no gene TP53 em portadores de carcinoma de células renais tipo células claras.**
3. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). Estimativa 2023: Incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA; 2022. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/publicacoes/livros/estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil>
4. Pereira, D. P. (2015). **Análise da mutação BRAFV600E em carcinoma papilífero de tireoide.**
5. Small, E. J. (2014). **Quimioterapia dos tumores urológicos.** Urologia geral de Smith e Tanagho-18, 302.
6. CASTRO, J., VON MUHLEN, B., GIRARDI, F., MEYER, F., MIERZVA, T., & ANDRADE, G. (2009). URO-ONC-36 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA MULTIPARAMÉTRICA DA PRÓSTATA E RESULTADOS ADVERSOS DA PATOLOGIA EM PACIENTES SUBMETIDOS A PROSTATECTOMIA RADICAL. XIV, 2, 17-22.
7. Meduna, R. R. (2021). Estudo sobre terapia de ablação por radiofrequência combinado a inibidores de checkpoint do sistema imune em um modelo murino de carcinoma de células renais.

CEFALEIA TENSIONAL EM ADULTOS: DIAGNÓSTICO CLÍNICO, IMPACTOS FUNCIONAIS E ABORDAGENS TERAPÊUTICAS INTEGRADAS

Gustavo de Oliveira Reis
Centro Universitário de Caratinga (UNEC)

RESUMO

A cefaleia tensional é uma das cefaleias primárias mais prevalentes na população mundial, caracterizando-se por dor de leve a moderada intensidade, de natureza opressiva e localização bilateral. Apesar de frequentemente subestimada, essa condição compromete significativamente a qualidade de vida dos indivíduos, interferindo em aspectos funcionais, emocionais e sociais. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, os principais aspectos clínicos, os impactos funcionais e as abordagens terapêuticas utilizadas no manejo da cefaleia tensional em adultos. Para isso, foram selecionados artigos publicados entre 2015 e 2024, extraídos de bases científicas como SciELO, LILACS, Google Acadêmico e CAPES. Os resultados evidenciaram que o diagnóstico da cefaleia tensional é predominantemente clínico, baseado em critérios da Classificação Internacional das Cefaleias. Além disso, observou-se que a dor recorrente pode afetar a funcionalidade do paciente e está associada a fatores psicossociais, como estresse e ansiedade. O tratamento deve ser multidisciplinar, combinando medidas farmacológicas, terapias manuais, psicoterapia e estratégias educativas. Conclui-se que o cuidado com pacientes com cefaleia tensional exige uma abordagem individualizada, humanizada e baseada em evidências, promovendo melhor controle da dor e melhora na qualidade de vida.

Palavras-chave: cefaleia tensional; diagnóstico clínico; qualidade de vida; terapias integrativas.

INTRODUÇÃO

A cefaleia é considerada uma das queixas neurológicas mais comuns na prática clínica, afetando grande parte da população mundial em diferentes faixas etárias. Dentre as diversas formas de cefaleia, a cefaleia tensional se destaca por sua alta prevalência, sendo classificada como uma cefaleia primária caracterizada por dor de leve a moderada intensidade, com localização bilateral, de natureza opressiva e sem agravamento com atividades rotineiras (Da Cruz *et al.*, 2017). Essa condição pode se manifestar de maneira episódica ou crônica, estando frequentemente associada a fatores emocionais, estresse, distúrbios do sono, má postura e sobrecarga muscular, especialmente na região cervical e da face (Amaral; Glauglitz; Guerreiro, 2022).

Apesar de ser muitas vezes subestimada tanto por pacientes quanto por profissionais da saúde, a cefaleia tensional pode causar impacto significativo na qualidade de vida, nas atividades diárias e na produtividade dos indivíduos acometidos. Estudos apontam que a intensidade da dor, quando recorrente, pode levar à incapacidade funcional, especialmente entre estudantes e profissionais expostos a fatores psicossociais estressantes (Ferreira *et al.*, 2021). Adicionalmente, o impacto psicológico dessa condição pode desencadear um ciclo de retroalimentação entre dor e sofrimento emocional, comprometendo ainda mais o bem-estar físico e mental (Souza *et al.*, 2015).

A identificação do tipo de cefaleia e o reconhecimento de suas causas são essenciais para a escolha adequada da conduta terapêutica. Entretanto, muitos casos de cefaleia tensional não são diagnosticados corretamente ou recebem tratamento sintomático apenas com analgésicos, o que contribui para a cronificação do quadro (De Assumpção *et al.*, 2017). Por esse motivo, a investigação diagnóstica deve considerar critérios clínicos bem estabelecidos, avaliando características da dor, fatores desencadeantes e sinais associados, como a presença de alodinia cutânea, que pode indicar sensibilização central precoce (Da Silva Sousa *et al.*, 2024).

A terapêutica da cefaleia tensional pode incluir abordagens farmacológicas e não farmacológicas, sendo estas últimas cada vez mais valorizadas pela literatura por seus efeitos positivos e menor risco de efeitos adversos. A terapia manual, por exemplo, tem se mostrado eficaz no alívio da dor em pacientes com

cefaleia tensional, promovendo o relaxamento muscular e a melhora da circulação sanguínea (De Souza; Celestino; Mundim, 2021). Além disso, intervenções multidisciplinares, incluindo acompanhamento psicológico, correção postural e atividades de relaxamento, têm sido recomendadas como parte de um plano terapêutico integrado (Dos Santos *et al.*, 2024).

A atuação dos serviços de saúde, especialmente nas unidades de emergência, também merece atenção. A ausência de protocolos específicos ou a falta de padronização no atendimento das cefaleias pode levar a condutas inadequadas ou insuficientes, reforçando a necessidade de diretrizes clínicas que orientem o diagnóstico e tratamento dessas condições com base em evidências (De Assumpção *et al.*, 2017). Nesse contexto, a abordagem dos bloqueios anestésicos tem sido considerada como uma opção viável em casos de dor refratária, demonstrando bons resultados em estudos recentes (Trinca *et al.*, 2024).

Além dos fatores clínicos e terapêuticos, deve-se considerar a influência de comorbidades, como a disfunção temporomandibular (DTM), que pode estar associada à cefaleia tensional, intensificando a dor e dificultando o manejo (Camacho; Waldemarin; Barbin, 2021). A avaliação criteriosa da presença de DTM em pacientes com cefaleia persistente é, portanto, uma estratégia importante para garantir o tratamento adequado e eficaz.

Diante desse panorama, torna-se relevante investigar os principais aspectos relacionados à cefaleia tensional, desde suas características clínicas e diagnóstico até as estratégias terapêuticas disponíveis, com foco na promoção da qualidade de vida e no alívio da dor. A literatura aponta para a necessidade de maior conscientização sobre essa condição entre os profissionais da saúde, bem como da implementação de condutas clínicas baseadas em evidências (Cubal, 2017).

Assim, o presente artigo de revisão tem como objetivo geral analisar os principais aspectos da cefaleia tensional em adultos, com ênfase no diagnóstico clínico, impacto funcional e intervenções terapêuticas. Como objetivos específicos, busca-se: identificar os critérios clínicos utilizados para o diagnóstico da cefaleia tensional; discutir os principais fatores relacionados ao agravamento e à persistência da dor; e descrever as opções terapêuticas disponíveis, tanto farmacológicas quanto não farmacológicas. Justifica-se a escolha do tema pela alta prevalência da cefaleia tensional e seus impactos na saúde pública, além da

necessidade de ampliar a compreensão sobre estratégias eficazes de manejo, considerando os avanços recentes nas abordagens clínicas e multidisciplinares (Dos Santos *et al.*, 2024; Da Cruz *et al.*, 2017; Amaral; Glauglitz; Guerreiro, 2022).

METODOLOGIA

Este artigo configurou-se como uma revisão de literatura de natureza qualitativa, com abordagem descritiva, cujo objetivo foi analisar as principais evidências científicas sobre a cefaleia tensional em adultos, com foco no diagnóstico clínico, nos impactos funcionais e nas abordagens terapêuticas. Para a construção do referencial teórico, realizou-se uma busca sistemática por artigos científicos publicados entre os anos de 2015 e 2024, disponíveis em bases de dados reconhecidas na área da saúde, tais como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), Google Acadêmico e periódicos indexados no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Estabeleceram-se como critérios de inclusão os estudos que abordaram diretamente a cefaleia tensional, seu diagnóstico, aspectos epidemiológicos, repercussões funcionais e estratégias terapêuticas utilizadas na prática clínica. Foram selecionados apenas artigos publicados em português, com texto completo disponível online e compatíveis com os objetivos da pesquisa. Excluíram-se trabalhos que abordaram exclusivamente outras formas de cefaleia, como a migrânea ou cefaleias secundárias, bem como publicações duplicadas ou que apresentaram limitações metodológicas relevantes.

O processo de seleção dos estudos seguiu as etapas de leitura exploratória, leitura seletiva e leitura analítica, sendo realizada uma análise de conteúdo para identificação dos principais temas e contribuições teóricas relacionadas ao fenômeno investigado. A fim de garantir a consistência na análise dos dados, organizou-se o material em categorias temáticas previamente definidas, alinhadas com os objetivos específicos do estudo: características clínicas e diagnóstico, impacto funcional e qualidade de vida, e estratégias de manejo terapêutico.

Utilizaram-se como referências principais os estudos de autores como Dos Santos *et al.* (2024), De Assumpção *et al.* (2017), Trinca *et al.* (2024), Camacho *et al.* (2021), Ferreira *et al.* (2021), Da Silva Sousa *et al.* (2024), De Souza,

Celestino e Mundim (2021), Amaral, Glauglitz e Guerreiro (2022), Da Cruz *et al.* (2017), Souza *et al.* (2015) e Cubal (2017), entre outros. As informações extraídas dos textos selecionados foram organizadas e interpretadas de forma crítica, com o objetivo de construir uma análise integrativa sobre o tema.

A metodologia adotada permitiu reunir dados atualizados e relevantes sobre a cefaleia tensional, favorecendo a compreensão de sua complexidade clínica e dos desafios enfrentados na prática profissional. Esta revisão também atendeu aos princípios éticos da pesquisa científica, respeitando a integridade intelectual dos autores consultados.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ASPECTOS CLÍNICOS E DIAGNÓSTICO DA CEFALEIA TENSIONAL

A cefaleia tensional é considerada uma das cefaleias primárias mais prevalentes na população mundial, caracterizando-se por episódios de dor de intensidade leve a moderada, geralmente bilateral, com sensação opressiva, sem agravamento por atividades físicas rotineiras e sem associação com náuseas ou vômitos. Segundo Da Cruz *et al.* (2017), essa condição está frequentemente relacionada a fatores emocionais, fadiga, estresse e alterações musculares na região cervical, sendo mais comum em adultos jovens e em indivíduos com rotinas estressantes. A dor é percebida como um “peso” ou “aperto” na cabeça, podendo durar de 30 minutos a vários dias.

O diagnóstico da cefaleia tensional é eminentemente clínico e deve obedecer aos critérios definidos pela Classificação Internacional das Cefaleias (ICHD-3), que exige a presença de pelo menos dois dos seguintes critérios: dor bilateral, natureza não pulsátil, intensidade leve a moderada e ausência de piora com atividades físicas habituais. Além disso, deve haver ausência de náuseas, embora possa estar presente fotofobia ou fonofobia de forma isolada (Dos Santos *et al.*, 2024). Esses critérios permitem a distinção com outras cefaleias primárias, como a migrânea, que apresenta características mais intensas e incapacitantes.

De Assumpção *et al.* (2017) destacam que, no ambiente hospitalar, especialmente nas unidades de emergência, o diagnóstico da cefaleia tensional pode ser subestimado, muitas vezes confundido com outras síndromes

dolorosas. A ausência de exames complementares específicos faz com que o profissional de saúde dependa de uma anamnese detalhada, exame físico e avaliação dos fatores psicossociais envolvidos. A padronização de protocolos de atendimento contribui para a maior acurácia do diagnóstico, evitando tratamentos inadequados ou uso excessivo de medicamentos.

A classificação da cefaleia tensional em episódica e crônica é relevante para o manejo clínico. A forma episódica subdivide-se em infrequente (menos de um episódio por mês) e frequente (de 1 a 14 dias por mês), enquanto a forma crônica se caracteriza por episódios em 15 ou mais dias por mês, durante pelo menos três meses consecutivos (Trinca *et al.*, 2024). Essa diferenciação permite que o profissional estabeleça estratégias de tratamento mais adequadas, uma vez que os quadros crônicos tendem a estar associados a sensibilização central e disfunção do sistema nociceptivo.

A alodinia cutânea, definida como dor desencadeada por estímulos que normalmente não provocariam dor, é um sinal que pode estar presente em indivíduos com cefaleia tensional crônica. Conforme Da Silva Sousa *et al.* (2024), esse achado clínico é um marcador precoce de sensibilização central, indicando maior comprometimento neurológico e necessidade de intervenções terapêuticas mais amplas. A presença de alodinia pode ser avaliada por meio de testes simples durante o exame físico, como o toque leve da pele com algodão ou pincel.

Ferreira *et al.* (2021) realizaram um estudo com estudantes universitários da área da saúde e observaram que a cefaleia tensional está diretamente associada a sobrecarga acadêmica, má postura e fatores emocionais, o que corrobora a hipótese de que os elementos psíquicos desempenham papel crucial na gênese do quadro doloroso. A avaliação adequada desses fatores é essencial para o diagnóstico, pois permite ao profissional diferenciar a cefaleia tensional de cefaleias secundárias e planejar intervenções não apenas sintomáticas, mas também preventivas.

O uso de escalas e questionários padronizados, como o Questionário de Impacto de Cefaleia (HIT-6) e o Índice de Disfunção Temporomandibular, tem sido recomendado para auxiliar na avaliação da intensidade da dor, da frequência dos episódios e do grau de incapacidade funcional. Camacho, Waldemarin e Barbin (2021) alertam para a frequente associação entre cefaleia tensional e

disfunção temporomandibular (DTM), o que requer uma abordagem multidisciplinar no diagnóstico e no tratamento. A análise da oclusão dentária, hábitos parafuncionais e dor na musculatura mastigatória deve fazer parte da avaliação clínica desses pacientes.

Em muitos casos, a cefaleia tensional não é diagnosticada de forma adequada, principalmente devido à banalização dos sintomas e à automedicação. Souza, Celestino e Mundim (2021) afirmam que a falta de acompanhamento especializado pode levar à cronificação do quadro, aumentando a dependência de medicamentos e comprometendo a qualidade de vida. Além disso, a ausência de políticas públicas voltadas à educação em saúde sobre cefaleias contribui para a subnotificação e o manejo inadequado da condição.

A diferenciação da cefaleia tensional com outras cefaleias primárias, como a migrânea, é um dos maiores desafios diagnósticos. Souza *et al.* (2015) apontam que muitos pacientes confundem os sintomas, o que leva ao uso inadequado de triptanos e ao risco de efeitos adversos. A migrânea, por sua vez, geralmente apresenta dor unilateral, de forte intensidade, pulsátil e associada a náuseas, fotofobia e fonofobia em conjunto. Por isso, a avaliação detalhada da história clínica é fundamental para a definição diagnóstica.

A anamnese deve incluir perguntas sobre início, duração, localização, qualidade da dor, fatores de melhora e piora, presença de sintomas associados e histórico familiar. Segundo Amaral, Glauglitz e Guerreiro (2022), a identificação de fatores desencadeantes como estresse, privação de sono, alterações musculoesqueléticas e ansiedade são indicadores consistentes da cefaleia tensional. A coleta dessas informações permite ao profissional construir uma hipótese diagnóstica sólida, diminuindo o risco de iatrogenias.

Nos casos em que o diagnóstico permanece incerto, especialmente quando há sinais de alerta como início súbito, piora progressiva ou presença de sinais neurológicos focais, é necessário considerar causas secundárias de cefaleia e realizar exames complementares. Cubal (2017) enfatiza que, embora exames de imagem como tomografia computadorizada e ressonância magnética não sejam indicados rotineiramente para cefaleias primárias, eles são fundamentais na exclusão de patologias intracranianas graves em situações específicas.

No contexto ambulatorial, o acompanhamento longitudinal dos pacientes com cefaleia tensional permite o reconhecimento de padrões e a evolução

clínica do quadro, auxiliando no diagnóstico diferencial com cefaleias do tipo nova diária persistente ou cefaleias atribuídas ao uso excessivo de medicações. Dos Santos *et al.* (2024) destacam que a continuidade do cuidado é essencial para reduzir a frequência e a intensidade dos episódios, promovendo maior controle da dor e melhora na funcionalidade.

É importante que os profissionais estejam atentos aos fatores psicossociais que cercam os pacientes com cefaleia tensional, como dificuldades familiares, sobrecarga laboral, inseguranças pessoais e histórico de trauma emocional. De Souza, Celestino e Mundim (2021) ressaltam que o sofrimento emocional pode atuar como gatilho para episódios de dor, sendo necessário, portanto, uma escuta qualificada e, quando possível, encaminhamento para apoio psicológico ou psicoterapia.

A construção de protocolos clínicos baseados em evidências é uma estratégia que pode melhorar o diagnóstico e o tratamento da cefaleia tensional nos diversos níveis de atenção à saúde. De Assumpção *et al.* (2017) propõem um modelo de padronização do atendimento em serviços de urgência, que inclui a triagem da dor, classificação segundo os critérios da ICHD-3 e plano terapêutico escalonado. Essa abordagem reduz o tempo de permanência nos serviços e melhora os desfechos clínicos.

IMPACTOS DA CEFALeia TENSIONAL NA FUNCIONALIDADE E QUALIDADE DE VIDA

A cefaleia tensional, embora muitas vezes considerada uma condição benigna, tem impacto significativo na funcionalidade e na qualidade de vida dos indivíduos acometidos. Trata-se de um distúrbio crônico que, por sua frequência e intensidade, compromete a realização de atividades cotidianas e afeta negativamente o bem-estar físico, emocional e social do paciente. Segundo Ferreira *et al.* (2021), indivíduos com cefaleia tensional frequente relatam limitações em suas atividades profissionais, acadêmicas e domésticas, além de alterações no humor e na capacidade de concentração.

Estudos apontam que a cefaleia tensional está diretamente relacionada à diminuição da produtividade no trabalho e à elevação dos índices de absenteísmo. Essa condição gera prejuízos econômicos significativos tanto para o

indivíduo quanto para a sociedade, em virtude do afastamento de atividades e da necessidade de consultas frequentes aos serviços de saúde. De acordo com Dos Santos *et al.* (2024), pacientes com cefaleia crônica apresentam maior demanda por medicamentos e procedimentos terapêuticos, elevando o custo do tratamento e sobrecarregando os sistemas de saúde.

Além dos efeitos físicos, a cefaleia tensional provoca intenso sofrimento emocional. A dor persistente, mesmo que de intensidade moderada, compromete a estabilidade psíquica e contribui para o desenvolvimento de quadros de ansiedade, irritabilidade e, em alguns casos, depressão. Amaral, Glauglitz e Guerreiro (2022) ressaltam que a convivência com a dor crônica pode alterar o modo como o indivíduo se relaciona com o ambiente, levando ao isolamento social e à perda de interesse por atividades antes prazerosas.

Outro aspecto relevante está relacionado à qualidade do sono. Pacientes com cefaleia tensional frequentemente relatam dificuldade para iniciar e manter o sono, o que gera um ciclo vicioso entre privação de descanso e aumento da sensibilidade à dor. Da Cruz *et al.* (2017) destacam que a má qualidade do sono interfere na recuperação física e mental, agravando o quadro clínico e dificultando a adesão ao tratamento. O distúrbio do sono, por sua vez, reduz a tolerância ao estresse e predispõe a crises mais frequentes.

Em ambientes acadêmicos, os estudantes são um dos grupos mais afetados pela cefaleia tensional, sobretudo em contextos de sobrecarga de atividades, pressão por desempenho e falta de tempo para lazer e autocuidado. Ferreira *et al.* (2021) identificaram uma elevada prevalência de cefaleia tensional entre alunos de cursos da área da saúde, associando o problema à jornada extensa de estudos e à adoção de posturas inadequadas por longos períodos. Esses fatores impactam diretamente no rendimento acadêmico e na motivação para a aprendizagem.

A presença de cefaleia tensional crônica pode influenciar o comportamento e as interações interpessoais. Segundo De Souza, Celestino e Mundim (2021), muitos pacientes desenvolvem um comportamento de evitação, reduzindo seus vínculos sociais por medo de que situações de estresse agravem a dor. Esse comportamento contribui para o aumento da solidão e da sensação de incompreensão, dificultando o enfrentamento da doença e reforçando o sofrimento subjetivo.

Os efeitos da cefaleia tensional também se estendem ao contexto familiar, uma vez que o paciente com dor crônica pode apresentar alterações de humor e de disposição, impactando a dinâmica com os demais membros da casa. Amaral, Glauglitz e Guerreiro (2022) ressaltam que a irritabilidade e a impaciência decorrentes da dor podem gerar conflitos, diminuindo o apoio social disponível e dificultando a convivência familiar harmoniosa. O desgaste emocional recíproco pode agravar o quadro clínico e afetar a saúde mental de todos os envolvidos.

Pacientes com cefaleia tensional relatam sentimentos de frustração, desânimo e desesperança, principalmente quando os episódios se tornam recorrentes e resistentes ao tratamento convencional. Camacho, Waldemarin e Barbin (2021) afirmam que a dor constante compromete o senso de controle sobre o próprio corpo e a própria vida, levando à perda de autonomia e à baixa autoestima. Em alguns casos, há relatos de desmotivação para o trabalho e para os cuidados pessoais, indicando o impacto profundo da dor na identidade e na subjetividade do indivíduo.

A dor de natureza crônica, como a cefaleia tensional, pode provocar alterações na forma como o sistema nervoso central processa os estímulos sensoriais. Da Silva Sousa *et al.* (2024) observaram que pacientes com cefaleia tensional crônica apresentam sinais de sensibilização central, o que significa que estímulos antes inócuos passam a ser percebidos como dolorosos. Essa condição agrava o sofrimento e torna o paciente mais vulnerável à intensificação da dor por fatores ambientais, emocionais ou comportamentais.

O comprometimento da funcionalidade em pacientes com cefaleia tensional se dá tanto nas atividades simples do cotidiano, como ler, dirigir ou cozinhar, quanto em tarefas mais complexas, como trabalhar sob pressão ou tomar decisões rápidas. De Assumpção *et al.* (2017) apontam que o impacto funcional é cumulativo e se manifesta progressivamente, dificultando a realização de metas pessoais e profissionais. Isso pode gerar um sentimento de impotência frente às exigências da vida moderna, reforçando o sofrimento psíquico.

A interação entre dor e saúde mental é um dos principais desafios no tratamento da cefaleia tensional. Souza *et al.* (2015) alertam que a presença de transtornos de humor não apenas agrava a percepção da dor, como também interfere na resposta ao tratamento. Por isso, a abordagem do paciente deve ser

multiprofissional, incluindo acompanhamento psicológico e, quando necessário, intervenção psiquiátrica. O reconhecimento da dor como uma experiência multidimensional é essencial para promover cuidado integral.

Os impactos sociais da cefaleia tensional incluem o estigma associado à queixa de dor sem alterações em exames complementares. Muitos pacientes relatam sentir-se desacreditados por colegas, familiares e até profissionais de saúde, o que contribui para o agravamento da sensação de abandono e desvalorização. De Souza, Celestino e Mundim (2021) observam que essa ausência de validação do sofrimento pode levar à retração social e à recusa em buscar ajuda, prolongando o quadro e tornando-o mais difícil de tratar.

Nos contextos ocupacionais, a cefaleia tensional interfere diretamente na performance dos trabalhadores, principalmente em atividades que exigem concentração, atenção contínua ou exposição a ambientes ruidosos e estressantes. Trinca *et al.* (2024) ressaltam que a dor recorrente reduz a capacidade de foco e aumenta a vulnerabilidade a erros e acidentes, o que pode comprometer a segurança e a produtividade. A adoção de medidas preventivas, como pausas durante o expediente e ergonomia no ambiente de trabalho, é essencial para minimizar esses efeitos.

O impacto da cefaleia tensional na qualidade de vida pode ser mensurado por meio de instrumentos validados como o SF-36 e o HIT-6, que avaliam dimensões como dor, limitações físicas, saúde emocional e interação social. Cubal (2017) reforça que a mensuração regular desses indicadores permite acompanhar a evolução clínica e ajustar o plano terapêutico conforme as necessidades do paciente. O uso dessas ferramentas favorece uma prática clínica mais centrada no paciente e orientada por dados objetivos.

ABORDAGENS TERAPÊUTICAS PARA O MANEJO DA CEFALEIA TENSIONAL

O tratamento da cefaleia tensional requer uma abordagem multidisciplinar que leve em consideração os aspectos físicos, emocionais e comportamentais do paciente. Por se tratar de uma condição multifatorial, o sucesso terapêutico está diretamente ligado à personalização das condutas, à adesão ao tratamento e à incorporação de práticas que vão além do uso de medicamentos. Segundo Dos Santos *et al.* (2024), o manejo adequado da cefaleia tensional inclui medidas

farmacológicas, terapias manuais, intervenções comportamentais e reeducação postural, visando o alívio da dor e a prevenção da recorrência.

Entre as opções farmacológicas, os analgésicos simples, como o paracetamol e os anti-inflamatórios não esteroides (AINEs), são comumente utilizados em crises agudas de cefaleia tensional. De Assumpção *et al.* (2017) observam que, apesar da eficácia sintomática imediata, o uso frequente desses medicamentos pode levar ao fenômeno de cefaleia por uso excessivo de medicação, agravando o quadro clínico. Dessa forma, o uso de analgésicos deve ser criterioso, com orientação profissional, para evitar a cronificação da dor.

Nos casos de cefaleia tensional crônica, o uso de antidepressivos tricíclicos, como a amitriptilina, tem sido recomendado com o objetivo de modular a dor e reduzir a frequência dos episódios. Da Silva Sousa *et al.* (2024) destacam que esses fármacos atuam na regulação dos neurotransmissores envolvidos na percepção da dor e possuem efeito ansiolítico, contribuindo para o controle dos fatores psicossociais associados. A resposta ao tratamento, no entanto, varia de acordo com o perfil clínico de cada paciente.

Além da farmacoterapia, as intervenções não farmacológicas têm ganhado destaque na literatura científica como formas eficazes e seguras de controle da cefaleia tensional. A terapia manual, por exemplo, apresenta resultados positivos na redução da dor e na melhoria da funcionalidade. De Souza, Celestino e Mundim (2021) explicam que técnicas como a liberação miofascial, a mobilização cervical e a massagem terapêutica atuam sobre os pontos de tensão muscular, promovendo relaxamento e alívio sintomático.

As técnicas de relaxamento, incluindo a respiração diafragmática, o relaxamento muscular progressivo e a meditação, têm demonstrado benefícios significativos na redução da frequência e da intensidade das crises. Ferreira *et al.* (2021) afirmam que essas práticas auxiliam na regulação do sistema nervoso autônomo, diminuem os níveis de cortisol e promovem a sensação de bem-estar. A incorporação dessas técnicas na rotina do paciente contribui para a autonomia no manejo da dor.

A psicoterapia, especialmente a abordagem cognitivo-comportamental, é indicada nos casos em que fatores emocionais desempenham papel relevante na gênese e manutenção da dor. Amaral, Glauglitz e Guerreiro (2022) observam que essa modalidade terapêutica possibilita a reestruturação de pensamentos

disfuncionais, o desenvolvimento de estratégias de enfrentamento e a melhora na autoestima. O acompanhamento psicológico é essencial para promover o autoconhecimento e a adesão ao tratamento.

A correção postural e a reeducação do movimento são fundamentais no tratamento da cefaleia tensional, especialmente quando há associação com disfunções musculoesqueléticas. Trinca *et al.* (2024) ressaltam que alterações posturais, como a anteriorização da cabeça e a tensão cervical, estão diretamente ligadas ao surgimento e à manutenção da dor. A atuação do fisioterapeuta, por meio de exercícios de alongamento, fortalecimento e consciência corporal, é indispensável nesse contexto.

O uso de bloqueios anestésicos tem se mostrado uma alternativa eficaz para pacientes com cefaleia tensional refratária às terapias convencionais. Essa técnica consiste na aplicação de anestésicos locais em pontos específicos de dor, como os músculos occipitais e trapézios, visando a interrupção do ciclo nociceptivo. Segundo Trinca *et al.* (2024), os bloqueios promovem alívio imediato da dor, sendo indicados principalmente em casos de dor intensa e persistente.

A educação em saúde é uma estratégia terapêutica indispensável, pois promove a conscientização do paciente sobre os fatores desencadeantes da cefaleia tensional e sobre a importância da adoção de hábitos saudáveis. Camacho, Waldemarin e Barbin (2021) enfatizam que o esclarecimento sobre a condição clínica aumenta o engajamento no tratamento e reduz a ansiedade relacionada à dor. Atividades educativas, individuais ou em grupo, devem ser oferecidas de forma contínua e acessível.

A prática regular de atividade física aeróbica tem sido associada à redução da intensidade e da frequência das cefaleias. Da Cruz *et al.* (2017) explicam que o exercício físico libera endorfinas, melhora a vascularização e contribui para a regulação do sono e do humor. Caminhadas, natação e bicicleta são algumas das atividades recomendadas, devendo ser adaptadas à condição clínica do paciente e supervisionadas por profissionais capacitados.

Nos casos em que a cefaleia tensional está associada à disfunção temporomandibular, a atuação conjunta entre dentistas e fisioterapeutas é essencial. Camacho, Waldemarin e Barbin (2021) apontam que o uso de placas oclusais, a correção de hábitos orais prejudiciais e a liberação da musculatura mastigatória são medidas eficazes na redução da dor. A avaliação criteriosa da articulação

temporomandibular deve fazer parte da abordagem integral do paciente com cefaleia crônica.

As práticas integrativas e complementares, como acupuntura, auriculoterapia e osteopatia, também vêm sendo utilizadas como coadjuvantes no tratamento da cefaleia tensional. De Souza, Celestino e Mundim (2021) relatam que essas abordagens proporcionam alívio da dor, relaxamento e equilíbrio energético, sendo bem aceitas pelos pacientes. Apesar da escassez de estudos de alta qualidade metodológica, essas terapias apresentam baixo risco e podem ser incluídas no plano terapêutico individualizado.

O apoio social é outro fator importante no processo terapêutico. Ferreira *et al.* (2021) destacam que o envolvimento da família e da rede de apoio fortalece a adesão ao tratamento e proporciona segurança emocional ao paciente. Grupos terapêuticos, encontros comunitários e apoio virtual são formas de compartilhar experiências e fortalecer vínculos, favorecendo o enfrentamento da dor e a resiliência frente aos desafios impostos pela condição crônica.

A abordagem terapêutica da cefaleia tensional deve ser centrada no paciente, respeitando suas particularidades, preferências e contexto de vida. Dos Santos *et al.* (2024) defendem que a escuta ativa, o acolhimento e a construção conjunta do plano de cuidados são pilares para o sucesso do tratamento. O fortalecimento do vínculo terapêutico aumenta a confiança, reduz a sensação de desespero e contribui para a melhoria global da qualidade de vida.

Por fim, é necessário que os profissionais da saúde estejam atualizados quanto às diretrizes clínicas baseadas em evidências e que sejam incentivadas políticas públicas que promovam a formação continuada e a integração entre os diversos níveis de atenção. De Assumpção *et al.* (2017) concluem que o enfrentamento da cefaleia tensional exige ações coordenadas, investimento em prevenção e o compromisso com uma prática ética, humanizada e eficiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cefaleia tensional demonstrou ser uma condição clínica de alta prevalência e impacto significativo na vida dos indivíduos, tanto do ponto de vista funcional quanto emocional e social. Ao longo deste estudo, foi possível identificar que, apesar de ser frequentemente subvalorizada, essa cefaleia interfere

diretamente na qualidade de vida dos pacientes, comprometendo atividades diárias, relacionamentos interpessoais, desempenho acadêmico e profissional.

O diagnóstico clínico, baseado em critérios bem estabelecidos pela Classificação Internacional das Cefaleias, mostrou-se essencial para diferenciar a cefaleia tensional de outros tipos de dor de cabeça, evitando tratamentos equivocados e a cronificação do quadro. Os estudos revisados evidenciaram ainda que o manejo da cefaleia tensional deve ser realizado de forma individualizada, incorporando estratégias farmacológicas e não farmacológicas.

Intervenções como terapia manual, psicoterapia, técnicas de relaxamento, atividade física, correção postural e educação em saúde se destacaram como recursos terapêuticos eficazes, especialmente quando aplicados em uma abordagem interdisciplinar centrada no paciente. Observou-se, também, a importância da escuta ativa e do acolhimento na construção do vínculo terapêutico, fatores que favorecem a adesão ao tratamento e a autonomia do indivíduo no enfrentamento da dor.

Conclui-se, portanto, que o enfrentamento da cefaleia tensional exige mais do que o alívio imediato da dor: demanda um olhar ampliado sobre o sujeito, suas condições de vida e suas necessidades integrais. Espera-se que este artigo contribua para a ampliação do conhecimento sobre o tema e estimule a adoção de práticas clínicas baseadas em evidências, humanizadas e integradas, promovendo um cuidado mais efetivo e resolutivo aos pacientes acometidos por essa condição.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Daniel Dutra; GLAUGLITZ, Augusto Cesar Ferreira; GUERREIRO, Evandro Prestes. **Cervicalgia e a cefaleia tensional – impacto no bem-estar físico e mental do paciente.** En Social Meeting Scientific Journal. eSocial Brasil Editora, 2022. p. 40-63.

CAMACHO, Guilherme Brião; WALDEMARIN, Renato de Andrade; BARBIN, Eduardo Luiz. Disfunção temporomandibular em adultos: estudo retrospectivo. **BrJP**, v. 4, p. 310-315, 2021.

CUBAL, Francisco Manuel Silvano Flórido. **A cefaleia como motivo de referência para consulta externa de neurologia do Centro Hospitalar Cova da Beira.** 2017. Tese (Doutorado) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2017.

DA CRUZ, Marina Coimbra, *et al.* Cefaleia do tipo tensional: revisão de literatura. **Archives of Health Investigation**, v. 6, n. 2, 2017.

DA SILVA SOUSA, Cirlane de Maria, *et al.* Cutaneous allodynia is already present in young adults with headache / Alodínia cutânea já está presente em adultos jovens com cefaleia. **Evidência**, v. 24, 2024.

DE ASSUMPÇÃO, Marina Gagliardi, *et al.* Protocolo de padronização do atendimento de cefaleias no serviço de emergência de um hospital geral terciário / Care protocol for the management of headaches at the emergency department of a general tertiary hospital. **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, p. 102-107, 2017.

DE SOUZA, Jaqueline Cristina; CELESTINO, Stefany Rodrigues; MUNDIM, Melissa Macedo. Análise dos resultados da terapia manual para alívio da dor em pacientes com cefaleia tensional: revisão bibliográfica. **Humanidades e Tecnologia (FINOM)**, v. 30, n. 1, p. 267-285, 2021.

DOS SANTOS, Naiane Alves, *et al.* Abordagens diagnósticas e terapêuticas nas cefaleias primárias: um enfoque em enxaqueca e cefaleia tensional. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 12, p. 2166-2176, 2024.

FERREIRA, Ana Paula, *et al.* Relação da cefaleia tensional com incapacidade funcional em estudantes de uma faculdade de saúde: um estudo descritivo. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49613-49628, 2021.

SOUZA, Nathalye Emanuelle, *et al.* Cefaleia: migrânea e qualidade de vida. **Revista de Saúde**, v. 6, n. 2, p. 23-26, 2015.

TRINCA, Beatriz Ferraz Rangel, *et al.* Abordagem dos bloqueios anestésicos para tratamento de cefaleias. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 6, n. 9, p. 333-344, 2024.

CRANBERRY: PODER ANTIOXIDANTE E ANTI-INFLAMATORIO

Amanda Dorta Maestro

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Maicon Henrique Braz Garcia

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Samanta Shiraishi Kagueyama

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Nicolas Bueno Mordhost Zeraik

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Tayane Siqueira Garcia Alves

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Danieli Suzan Valério

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Elizangela Regina da Silva

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

Este estudo tem como objetivo descrever o poder antioxidante e anti-inflamatório do cranberry, além de explorar suas propriedades relacionadas ao controle de diversas infecções, com ênfase na prevenção de infecções do trato urinário. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando artigos publicados em português e inglês, entre 2006 e 2016, acessados em periódicos impressos e online. A pesquisa foi feita nas bases de dados LILACS, SciELO e PubMed, além de busca em livros. Os resultados indicam que o cranberry, devido ao seu alto nível de proantocianidinas antioxidantes, é eficaz na prevenção de infecções do trato urinário, ajudando a inibir a adesão de bactérias patogênicas às paredes do trato urinário. Além disso, o cranberry também apresenta potencial na prevenção de úlceras, controle de bactérias orais, doenças cardiovasculares e no combate ao envelhecimento. Conclui-se que o cranberry é uma fruta com várias propriedades benéficas à saúde, especialmente no controle de infecções urinárias e outras condições, como problemas bucais e cardiovasculares, e que pode ter um papel importante na prevenção de doenças crônicas, como o câncer.

Palavras-chave: infecção do trato urinário; anti-inflamatório; antioxidantes; cranberry.

INTRODUÇÃO

O cranberry pertence ao mesmo gênero (*Vaccinium*) que o mirtilo. Assim como os mirtilos, os cranberries ainda podem ser encontrados crescendo em arbustos selvagens no norte da Europa, no norte da Ásia e na América do Norte, sendo também cultivados em vinhedos baixos, próximos a grandes pântanos de areia (BEVERLY, 2008). Os cranberries frescos apresentam os mais elevados níveis de fatores benéficos ao organismo, incluindo seu poder antioxidante e a proteção cardiovascular. O pico da colheita ocorre entre outubro e dezembro, período suficiente para que ocorram mudanças de cor, sabor e proporcionem inúmeros efeitos protetores à saúde (DÉZIEL *et al.*, 2010).

Durante muitos anos, acreditava-se que o consumo de cranberries ajudava na prevenção de infecções do trato urinário (ITUs), associando esse efeito à forte acidez dos frutos. No entanto, estudos recentes demonstraram que não é a acidez, mas sim a natureza incomum de suas proantocianidinas (PACs), que também estão relacionadas à prevenção de úlceras, ao controle de bactérias orais, à proteção contra doenças cardiovasculares, ao efeito antioxidante e ao antienvelhecimento (HOWELL, 2012).

Os cranberries têm sido altamente valorizados por sua capacidade de prevenir e tratar infecções do trato urinário (WEISS *et al.*, 2008). A estrutura especial das PACs (que formam ligações entre seus componentes) atua como uma barreira para as bactérias, impedindo que se fixem nas paredes do trato urinário. Muitos estudos indicam que os benefícios dos cranberries na prevenção de infecções urinárias são mais evidentes em mulheres com ITUs recorrentes (SUN *et al.*, 2012). Embora não existam evidências comprovadas de que o cranberry contribua para o emagrecimento, a fruta contém resveratrol, que combate o excesso de gordura no sangue, protegendo o coração e oferecendo inúmeros benefícios cardiovasculares (NETO, 2007). Além disso, estudos sugerem que o cranberry, fruto nativo americano, pode auxiliar na promoção da saúde bucal e gastrointestinal, reduzir o LDL, aumentar o HDL e até mesmo contribuir para a prevenção do câncer (WEISS *et al.*, 2008).

O presente trabalho teve como objetivo estudar, por meio de uma revisão bibliográfica, o poder antioxidante do cranberry e descrever suas propriedades antibacterianas, relacionadas ao controle de diversas infecções. A relevância deste

estudo está no fato de que o cranberry pode auxiliar no controle de infecções. Vale ressaltar que essa fruta tem despertado crescente interesse na comunidade científica devido à sua alta concentração de antioxidantes (compostos fenólicos) quando comparada a diversas outras frutas consumidas.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, abrangendo publicações em língua portuguesa e inglês, com buscas em periódicos online, artigos disponíveis na internet, localizados por meio das bases de dados LILACS, SciELO e PubMed. Como critérios de inclusão, foram selecionados textos completos, em língua portuguesa e inglesa, publicados no período de 2006 a 2016. Os critérios de exclusão foram os artigos que apresentavam apenas resumo e que não estavam diretamente relacionados à temática abordada. Os temas utilizados para a busca foram: Infecção do trato urinário, anti-inflamatório, antioxidantes e cranberry.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PROPRIEDADES DO CRANBERRY

Originalmente, o cranberry era utilizado para melhorar a saúde do trato urinário, reduzindo seu pH. No entanto, pesquisas mais recentes mostram que compostos naturais presentes no fruto, como os antioxidantes fenólicos, possuem benefícios evidentes na cavidade oral, no trato gastrointestinal e no trato urinário (WEISS *et al.*, 2008). A área primária de pesquisa com cranberry tem revelado um grande potencial na redução da incidência de infecções recorrentes do trato urinário e na melhora da saúde (HOWELL, 2012).

Um tipo específico de flavonoides, as proantocianidinas, presentes no cranberry, parecem atuar inibindo a capacidade de adesão da *Escherichia coli* (bactéria patogênica), prevenindo infecções (WEISS *et al.*, 2008). As análises químicas das bagas de cranberry indicam que as proantocianidinas podem proporcionar benefícios para a saúde humana (HOWELL, 2012).

Pinzon-Arango *et al.* (2009) relataram, em diversos estudos, os efeitos do suco, extrato e suplementos de cranberry nas infecções do trato urinário e

seus benefícios relacionados à ação antibacteriana, auxiliando na manutenção de um trato urinário saudável. O cranberry tem se mostrado eficaz em numerosos estudos laboratoriais e em modelos animais para auxiliar na prevenção da ITU. Muitos estudos clínicos com humanos focaram em populações com infecções recorrentes do trato urinário, como pacientes com dor pélvica crônica, mulheres grávidas, mulheres suscetíveis a infecções recorrentes e homens com probabilidade de doenças na próstata (VIDLAR *et al.*, 2010). Algumas teorias recentes sugerem que o mecanismo de ação do cranberry na prevenção das infecções do trato urinário está relacionado à acidificação da urina. No entanto, essa teoria ainda está em investigação e não pode ser considerada conclusiva. Os compostos responsáveis foram identificados como proantocianidinas e taninos condensados. Um estudo comparativo entre sucos de cranberry, uvas, maçãs, chá verde e chocolate com mais de 70% de cacau mostrou que apenas o cranberry exibiu a capacidade de impedir a adesão bacteriana nas mucosas do trato urinário (HOWELL, 2012).

A ingestão variada de cranberry, incluindo suco, frutas secas e extratos, parece possuir esses benefícios anti-adesão únicos, que desempenham um papel na promoção da saúde. Em todos os ensaios clínicos com humanos, os produtos de cranberry reduziram significativamente as infecções após 12 meses em mulheres com ITUs recorrentes. Esses ensaios sugerem que, embora seja necessário expandir a literatura atual, não há desvantagem em recomendar produtos à base de cranberry como parte de uma dieta prudente, especialmente para pessoas com histórico de infecções recorrentes (BOTTO; NEUZILLET, 2010).

Weiss *et al.* (2012) relataram que diversos estudos avaliaram os produtos orais contendo cranberry para ajudar a proteger contra cáries dentárias e outras bactérias orais, incluindo aquelas responsáveis pela doença periodontal, principal causa de perda dentária à medida que envelhecemos. Ensaios sugerem que essas proantocianidinas, com características únicas no cranberry, também interferem na adesão de *Helicobacter pylori*, principal causadora de úlceras, que, por sua vez, é uma das principais causas do câncer de estômago (GOTTELAND *et al.*, 2008).

CRANBERRY E SUA AÇÃO ANTIOXIDANTE

Além de ser uma fruta rica em antioxidantes, o cranberry contém importantes nutrientes como as vitaminas A, C e D. A maioria dos estudos focou na atuação do cranberry nas infecções do trato urinário, mas os benefícios do fruto vão além, abrangendo atividades antimicrobianas, diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares e propriedades anticâncer (MCKAY; BLUMBERG, 2007). Substâncias antioxidantes ajudam a neutralizar os radicais livres, que são prejudiciais ao corpo, podendo danificar o DNA ou os genes, interferir no metabolismo dos lipídios e promover a inflamação, aumentando o risco de cânceres e doenças crônicas. O cranberry contém compostos que apresentam poderosas propriedades antioxidantes, como os flavonoides. Os antioxidantes do cranberry pertencem a três grupos principais: antocianinas, flavonoides e proantocianidinas (NETO, 2007).

Os antioxidantes encontrados nos frutos diretamente da lavoura são especialmente importantes para o seu potencial de suporte à saúde. Do ponto de vista da pesquisa, existem diversos fatores importantes a serem considerados ao avaliar os benefícios antioxidantes dos cranberries (MCKAY; BLUMBERG, 2007). A diversidade de antioxidantes encontrados exclusivamente no cranberry é impressionante. A combinação única de antioxidantes fenólicos, como proantocianidinas, antocianinas, flavonoides e triterpenóides, é inconfundível. Além disso, o cranberry contém uma combinação particular de três nutrientes antioxidantes — resveratrol, piceatannol e pterostilbeno — que também são exclusivos da fruta (JEPSON; CRAIG, 2008).

Os fitonutrientes presentes no cranberry fornecem benefícios antioxidantes quando consumidos em conjunto, e também quando acompanhados de nutrientes antioxidantes convencionais presentes na fruta, como manganês e vitamina C (NETO, 2007). A comunidade médica tem demonstrado grande interesse em descobrir quais antioxidantes são importantes no combate a doenças. O cranberry é um ativo importante por conter mais antioxidantes fenólicos do que as 19 frutas mais consumidas, conforme um estudo publicado no *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. Esses antioxidantes podem desempenhar um papel relevante na prevenção de doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer (VINSON, 2004).

Um número crescente de evidências sugere que os flavonoides e os polifenóis do cranberry podem contribuir para reduzir o risco de doenças cardiovasculares (DCV) ao inibir a oxidação do LDL, melhorar ou manter os níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL), reduzir a agregação plaquetária, melhorar a função vascular e reduzir a pressão arterial, entre outros benefícios cardiovasculares (MCKAY; BLUMBERG, 2007).

Numerosos estudos *in vitro* e *in vivo* demonstraram que os flavonoides do cranberry são antioxidantes potentes, capazes de inibir a oxidação do LDL, a agregação e adesão de plaquetas, as enzimas envolvidas no metabolismo lipídico e lipoproteico, além de melhorar a resposta imune ao LDL oxidado e sua absorção por macrófagos endoteliais. Esses flavonoides também podem induzir a vasodilatação dependente do endotélio e aumentar o transporte reverso de colesterol, diminuindo os níveis de LDL (LEE *et al.*, 2008).

Estudos com cranberry em populações de alto risco para doenças cardiovasculares, incluindo pacientes com diabetes tipo 2, mostraram que a ingestão de suco de cranberry com baixa caloria aumentou os níveis de colesterol HDL entre homens obesos. No entanto, não houve significância estatística com doses de 125 ml ou 500 ml por dia. Os resultados publicados indicam que a suplementação com suco de cranberry a curto prazo está associada a um aumento significativo da capacidade antioxidante plasmática e redução das concentrações de LDL oxidado circulante (RUEL *et al.*, 2008).

Considerando que os cranberries são ricos em nutrientes e antioxidantes naturais, acredita-se que o consumo de coquetéis de suco de cranberry e outras bebidas de cranberry possam não ter a mesma resposta glicêmica em comparação com uma bebida placebo com o mesmo teor de açúcar. Vale ressaltar que bebidas "light" de suco de cranberry ainda precisam de mais pesquisas para conclusões definitivas (TORRONEN *et al.*, 2010).

Desde 2012, os estudos identificaram uma série de mecanismos que explicam as propriedades anticancerígenas do cranberry. Esses mecanismos incluem: bloqueio da expressão de MMPs (metaloproteinasas de matriz), inibição da ODC (ornitina descarboxilase), estimulação das QRs (quinona redutase), inibição das CYP2C9s (enzimas de desintoxicação de Fase I) e desencadeamento da apoptose em células tumorais. Os benefícios preventivos do cranberry

contra o câncer são conhecidos em casos de câncer de mama, cólon, pulmão e próstata (MILBURY *et al.*, 2012).

Embora a maioria dos estudos tenha sido realizada com culturas celulares e modelos animais, há uma área promissora de pesquisa nas propriedades quimiopreventivas do cranberry. Estudos *in vitro* mostraram que o cranberry pode reduzir o crescimento de células tumorais em vários tipos de câncer, como mama, cólon, próstata e pulmão. Considera-se que os PACs e outros compostos do cranberry contribuem para essas propriedades anticancerígenas observadas. A combinação sinérgica de fitonutrientes pode inibir o dano oxidativo do DNA, que está associado ao câncer, e inibir a proliferação celular (ANSELL *et al.*, 2009). Os ensaios clínicos com cranberry são ainda limitados ao câncer de próstata. Em um estudo com homens com níveis elevados de PSA tratados com suplementos diários de cranberry por seis meses, observou-se uma melhora nos sintomas prostáticos e níveis mais baixos de PSA (VIDLAR, 2012).

Estudos recentes mostram que os cranberries inteiros oferecem melhor proteção cardiovascular e hepática do que os extratos purificados em forma de suplemento (BARTMANN, 2008). Diversos pesquisadores ressaltaram que a sinergia entre os nutrientes do cranberry, em vez de componentes isolados, é responsável pelos benefícios à saúde.

Os benefícios para a saúde do cranberry têm sido amplamente reconhecidos em diversos estudos. Diversos pesquisadores apontam que a sinergia entre os nutrientes do cranberry, ao invés de componentes individuais isolados, é responsável pelos efeitos positivos observados na saúde humana. Essa sinergia é particularmente eficaz quando o cranberry é consumido na forma de fruta, uma vez que as propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticâncer do cranberry dependem de uma combinação de nutrientes que só estão presentes quando a baga é consumida inteira (SANDMANN, 2013). Esta descoberta reforça a importância de se consumir a fruta de forma integral para garantir que os benefícios terapêuticos sejam plenamente aproveitados, visto que muitos dos compostos bioativos no cranberry atuam em conjunto, potencializando seus efeitos.

Dentre os principais compostos bioativos presentes no cranberry, destacam-se as proantocianidinas, que desempenham um papel importante na redução da adesão bacteriana no trato urinário, especialmente em infecções

causadas por *Escherichia coli*. Além disso, o cranberry é uma excelente fonte de antioxidantes, como flavonoides, antocianinas e resveratrol, que têm sido associados à redução do risco de doenças cardiovasculares e ao combate ao envelhecimento precoce.

Em relação à saúde cardiovascular, vários estudos indicam que o consumo de cranberry tem efeitos benéficos na redução de biomarcadores substitutos do risco de doenças cardíacas, como estresse oxidativo, dislipidemia e inflamação. Ensaios clínicos sugerem que o suco de cranberry pode melhorar esses indicadores, com um impacto positivo no controle de doenças como o diabetes tipo 2 (RUEL, 2005; LEE *et al.*, 2008). O resveratrol presente no cranberry, um composto também encontrado nas uvas, tem mostrado ter vários efeitos biológicos relacionados à saúde cardiovascular, incluindo a extinção de espécies reativas de oxigênio, inibição da agregação plaquetária e redução da inflamação (WANG *et al.*, 2002; RUEL, 2007).

Além dos benefícios cardiovasculares, o cranberry também tem sido estudado por seus efeitos no envelhecimento. Estudos preliminares realizados pelo Centro de Pesquisa de Nutrição Humana (USDA) sugerem que dietas ricas em antioxidantes e fitonutrientes, como as encontradas no cranberry, podem proteger contra a perda de memória e coordenação associadas ao envelhecimento. A fruta fresca do cranberry apresenta uma elevada capacidade antioxidante, com 1750 unidades por 100g, o que pode contribuir para a proteção das células cerebrais contra os danos causados por radicais livres (SANDMANN, 2013). Modelos animais têm mostrado que a suplementação com cranberry pode proteger as células do cérebro e melhorar a função cognitiva, destacando o potencial do cranberry na prevenção de doenças neurodegenerativas e no combate ao envelhecimento cerebral.

Embora os benefícios de saúde do cranberry sejam inegáveis, é importante observar que a maioria dos estudos se concentrou nos efeitos de sucos e extratos concentrados de cranberry. A sinergia dos nutrientes presentes na fruta inteira continua sendo o foco da pesquisa, já que a combinação única de compostos bioativos parece ser mais eficaz quando consumida em sua forma natural. Essa abordagem, além de destacar os efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios, também sugere um impacto positivo nas funções cognitivas e na saúde geral, especialmente para aqueles em risco de doenças neurodegenerativas.

Portanto, a ingestão regular de cranberry, seja na forma de sucos, frutas frescas ou suplementos, pode oferecer uma gama de benefícios para a saúde, abrangendo desde a prevenção de infecções urinárias até a proteção contra doenças cardiovasculares e o envelhecimento celular. No entanto, mais estudos clínicos são necessários para entender completamente o impacto de cada forma de consumo, especialmente quando se trata de prevenir condições neurodegenerativas e melhorar a função cognitiva. A literatura atual sugere que o cranberry, com sua rica composição de antioxidantes e fitonutrientes, pode ser um componente valioso em uma dieta equilibrada e saudável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consumo de cranberry tem se mostrado promissor para a promoção da saúde, especialmente devido às suas propriedades antioxidantes e terapêuticas. Embora seja amplamente reconhecido por sua eficácia no tratamento e prevenção de infecções do trato urinário, os benefícios dessa fruta vão além, impactando positivamente diversas outras condições de saúde. Além disso, estudos apontam que o cranberry pode ajudar na prevenção de doenças cardiovasculares, melhorar a saúde oral, e até mesmo combater processos inflamatórios e de envelhecimento celular. No entanto, ainda há uma necessidade significativa de mais pesquisas sobre os componentes específicos do cranberry e seus mecanismos de ação, para que se possa entender melhor como ele contribui para a prevenção de uma variedade de doenças. Além disso, é fundamental estabelecer recomendações claras sobre a quantidade ideal para consumo, de forma que se possa maximizar seus potenciais benefícios à saúde.

REFERÊNCIAS

- ANSELL, J. et al. The absence of an interaction between warfarin and cranberry juice: a randomized, double-blind trial. **The Journal of Clinical Pharmacology**, v. 49, n. 7, p. 824-830, 2009.
- BASU, A. et al. Low-energy cranberry juice decreases lipid oxidation and increases plasma antioxidant capacity in women with metabolic syndrome. **Nutrition Research**, v. 31, n. 3, p. 190-196, 2011.
- BASU, A.; RHONE, M. L.; LYONS, T. J. Berries: emerging impact on cardiovascular health. **Nutrition Reviews**, v. 68, n. 3, p. 168-177, 2010.

BEVERLY, K.; BASU, A.; LUCAS, E. A. Anti-inflammatory effects of cranberry juice in lipopolysaccharide (LPS)-stimulated RAW 264.7 murine macrophage cells. **The FASEB Journal**, v. 22, n. 1 Supplement, p. 890.8-890.8, 2008.

BRATMAN, S. et al. **Mosby's Handbook of Herbs and Supplements and Their Therapeutic Uses**. Mosby Inc., 2003.

BOTTO, H.; NEUZILLET, Y. Effectiveness of a cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) preparation in reducing asymptomatic bacteriuria in patients with an ileal enterocystoplasty. **Scandinavian Journal of Urology and Nephrology**, v. 44, n. 3, p. 165-168, 2010.

CHAVES, F. Usos e benefícios do Cranberry: os maravilhosos benefícios para a saúde e como consumir. 2016. Disponível em: <http://foodfacts.mercola.com/cranberries.html>.

VIDLAR, A. et al. The effectiveness of dried cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) in men with lower urinary tract symptoms. **British Journal of Nutrition**, v. 104, n. 8, p. 1181-1189, 2010.

GOTTELAND, M. et al. Modulation of *Helicobacter pylori* colonization with cranberry juice and *Lactobacillus johnsonii* La1 in children. **Nutrition**, v. 24, n. 5, p. 421-426, 2008.

HOWELL, A. B. Cranberry proanthocyanidins and the maintenance of urinary tract health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 42, n. S3, p. 273-278, 2002.

LEE, I. T. et al. Effect of cranberry extracts on lipid profiles in subjects with Type 2 diabetes. **Diabetic Medicine**, v. 25, n. 12, p. 1473-1477, 2008.

MCKAY, D. L.; BLUMBERG, J. B. Cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) and cardiovascular disease risk factors. **Nutrition Reviews**, v. 65, n. 11, p. 490-502, 2007.

MILBURY, P. E.; VITA, J. A.; BLUMBERG, J. B. Anthocyanins are bioavailable in humans following an acute dose of cranberry juice. **The Journal of Nutrition**, v. 140, n. 6, p. 1099-1104, 2010.

NETO, C. C. Cranberry and blueberry: evidence for protective effects against cancer and vascular diseases. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 51, n. 6, p. 652-664, 2007.

PEDERSEN, C. B. et al. Effects of blueberry and cranberry juice consumption on the plasma antioxidant capacity of healthy female volunteers. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 5, p. 405, 2000.

PINZÓN-ARANGO, P. A.; LIU, Y.; CAMESANO, T. A. Role of cranberry on bacterial adhesion forces and implications for *Escherichia coli*-uroepithelial cell attachment. **Journal of Medicinal Food**, v. 12, n. 2, p. 259-270, 2009.

RUEL, G. et al. Changes in plasma antioxidant capacity and oxidized low-density lipoprotein levels in men after short-term cranberry juice consumption. **Metabolism**, v. 54, n. 7, p. 856-861, 2005.

RUEL, G.; COUILLARD, C. Evidences of the cardioprotective potential of fruits: the case of cranberries. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 51, n. 6, p. 692-701, 2007.

RUEL, G. et al. Low-calorie cranberry juice supplementation reduces plasma oxidized LDL and cell adhesion molecule concentrations in men. **British Journal of Nutrition**, v. 99, n. 2, p. 352-359, 2008.

DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE UNA ANTENA MICROSTRIP PATCH A 5.8 GHZ USANDO UN SUSTRATO FR4

Ruben Dario Florez-Zela

Laboratorio LIECAR - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

Facundo Palomino-Quispe

Laboratorio LIECAR - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

Ana Beatriz Alvarez

Laboratório PAVIC - Universidade Federal do Acre (UFAC)

Roger Jesus Coaquira-Castillo

Laboratorio LIECAR - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

Willy Vargas-Mateos

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

Jhohan Jancco-Chara

Laboratorio LIECAR - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)

RESUMEN

El diseño, simulación y análisis de una antena microstrip patch a 5.8 GHz con sustrato FR4 ($\epsilon_r = 4.3$, $h = 1.6$ mm) se llevó a cabo utilizando CST Studio Suite, logrando resultados aceptables para aplicaciones de corto alcance. El diseño teórico, basado en ecuaciones fundamentales, determinó dimensiones como un ancho de parche de 15.8869 mm, una longitud de 11.8848 mm, y una posición del inset de 4.5120 mm para una impedancia de 50Ω . La simulación mostró una pérdida de retorno (S_{11}) de -38.762 dB, un VSWR de 1.026554 a 5.8 GHz, y un ancho de banda de aproximadamente 392 MHz, indicando una excelente adaptación de impedancia y cobertura en la banda objetivo. La directividad máxima alcanzó 6.321 dBi, con un patrón de radiación unidireccional de lóbulo principal amplio (96.0° a -3 dB) y lóbulos secundarios bajos (-13.8 dB). Sin embargo, la eficiencia radiada (52.8%) y total (52.5%) se vieron limitadas por las pérdidas dieléctricas del FR4, reduciendo la ganancia radiada. Para mejorar el rendimiento, se sugiere emplear sustratos de menor tangente de pérdida como Rogers RO4003 o técnicas de optimización como ranuras o arreglos de parches. La antena es adecuada para aplicaciones como sistemas RFID, redes de sensores, telemetría, y dispositivos IoT en la banda de 5.8 GHz, beneficiándose de su bajo costo y perfil compacto.

Palabras clave: Antena microstrip; 5.8 GHz; FR4; CST Studio; Diseño de antenas; CST Studio Suite; Simulación electromagnética.

INTRODUCCIÓN

Las antenas microstrip patch han ganado gran relevancia en las telecomunicaciones modernas debido a su bajo perfil, facilidad de fabricación y compatibilidad con circuitos integrados. Estas antenas consisten en un parche metálico sobre un sustrato dieléctrico con un plano de tierra en la cara opuesta, lo que las hace ideales para aplicaciones en bandas de frecuencia como los 5.8 GHz, comúnmente utilizadas en redes inalámbricas IEEE 802.11 (Wi-Fi), sistemas RFID y comunicaciones por satélite (Balanis, 2016). El diseño de una antena patch requiere un análisis cuidadoso de parámetros como el ancho y la longitud del parche, la permitividad efectiva del sustrato y la impedancia de entrada, los cuales determinan su rendimiento en términos de resonancia, ganancia y ancho de banda.

En este trabajo, se aborda el diseño, simulación y análisis de una antena microstrip patch operando a 5.8 GHz, utilizando un sustrato FR4, un material ampliamente empleado en la industria debido a su bajo costo y disponibilidad. El FR4, con una constante dieléctrica típica de 4.3 y un espesor común de 1.6 mm, presenta desafíos en aplicaciones de alta frecuencia debido a sus pérdidas dieléctricas, pero sigue siendo una opción viable para prototipos y aplicaciones de bajo presupuesto (Pozar, 2012). El objetivo es optimizar las dimensiones del parche y la línea de alimentación para lograr una impedancia característica de 50 Ω , asegurando una transferencia eficiente de energía.

La metodología empleada incluye el uso de ecuaciones fundamentales para el cálculo de dimensiones, como las propuestas por Balanis (2016) y Garg *et al.* (2001), complementadas con simulaciones numéricas para validar el diseño. Estudios previos, como el de Kumar y Ray (2003), han demostrado la eficacia de este enfoque para antenas microstrip en bandas de microondas, destacando la importancia de considerar efectos como los campos de borde y la permitividad efectiva. Este trabajo busca contribuir al desarrollo de antenas eficientes y económicas, ofreciendo un análisis detallado de los resultados obtenidos y su comparación con la teoría establecida.

Para la validación del diseño, se realizaron cálculos analíticos y simulaciones electromagnéticas utilizando CST Studio Suite. Se analizaron parámetros clave como la pérdida de retorno, el coeficiente de ondas estacionarias en voltaje

(VSWR) y el patrón de radiación, verificando su viabilidad para aplicaciones inalámbricas. Finalmente, se proponen mejoras en el diseño mediante la exploración de diferentes materiales dieléctricos y geometrías, con el fin de optimizar el rendimiento de la antena en futuras implementaciones.

MARCO TEÓRICO

Definición y Estructura de las Antenas Microstrip Patch

Las antenas microstrip patch son dispositivos radiantes de estructura planar que consisten en un parche metálico conductor, comúnmente de forma rectangular, circular o triangular, colocado sobre un sustrato dieléctrico con un plano de tierra conductor en la cara opuesta. Este diseño las hace ideales para aplicaciones modernas debido a su bajo perfil, peso ligero, facilidad de fabricación y capacidad de integración con circuitos impresos, lo que permite su uso en dispositivos compactos y portátiles (Balanis *et al.*, 2016).

La simplicidad de su construcción, combinada con su versatilidad, las convierte en una opción popular para sistemas que requieren antenas de tamaño reducido y bajo costo. En la Figura 1 se observa una antena microstrip patch rectangular convencional.

Figura 1. Antena patch rectangular convencional.

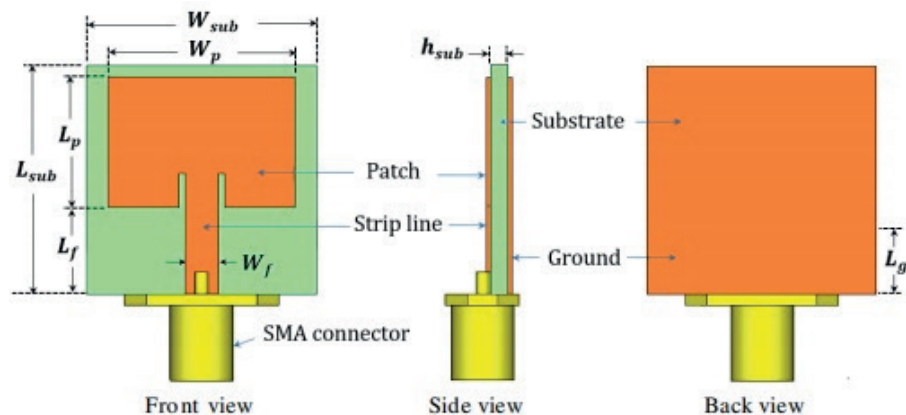


Fuente: Magalhaes, F. J. S., & Oliveira, D. B. (2020).

Estructura Específica de una Antena Microstrip Patch con Alimentación por Línea Microstrip

La estructura de una antena microstrip patch con alimentación por línea microstrip se observa en la Figura 2. Donde, en la vista frontal, se observa el parche (patch) de dimensiones (ancho) y (longitud), montado sobre un sustrato de dimensiones y , con una línea de alimentación (strip line) de ancho y longitud , que incluye un inset para ajustar la impedancia. La vista lateral muestra el espesor del sustrato (), el parche en la parte superior, el plano de tierra (ground) en la parte inferior, y un conector SMA que conecta la línea de alimentación al sistema externo. La vista trasera confirma la extensión del plano de tierra, que cubre toda la base del sustrato, asegurando un comportamiento unidireccional de la radiación (Pozar *et al.*, 2012). Esta configuración es común en diseños prácticos, ya que la línea microstrip permite una integración directa con circuitos impresos, y el conector SMA facilita la conexión a equipos de medición o transmisión.

Figura 2. Parámetros de antena microstrip rectangular.



Fuente: Jabar, A. A., & Naji, D. K. (2019).

Las antenas Microstrip están formadas por tres elementos:

1. **Capa Conductora:** Generalmente es hasta tres órdenes de magnitud menor a la longitud de onda de la señal que se quiera transmitir que será llamada parche.

2. *Dieléctrico*: Encargado de aislar el parche y el plano de la masa. El dieléctrico o también conocido como sustrato está caracterizado por su permitividad dieléctrica (ϵ_r), para las construcciones de las antenas microstrip oscilan entre los valores de (2.2 y 12) C2 / (N·m2) pero para el caso del diseño de la antena en específico oscilara entre 4.2 y 4.8. Cuando se aumenta los valores de permitividad se reduce las dimensiones físicas de nuestra antena las cuales pueden ser utilizadas para aplicaciones de microondas.
3. *Forma de las antenas parche*: No solamente son parches cuadrados, estas varían de formas según a las especificaciones del diseño según la Aplicación, algunas de estas formas son cuadrados, círculos, elipses, sectores circulares, triangulares. Estos tipos de cambios nos ayudarán a mejorar ciertas características relacionadas a la radiación de la antena otra manera de mejorar es el uso de arrays para aumentar el ancho de banda.

Principio de Funcionamiento

El funcionamiento de las antenas microstrip patch se basa en la resonancia electromagnética del parche, que actúa como una cavidad resonante abierta. La radiación se genera principalmente por los campos de borde (fringing fields) en los extremos del parche, lo que produce un patrón de radiación unidireccional con un lóbulo principal orientado perpendicularmente al plano del parche. Este comportamiento las hace adecuadas para aplicaciones que requieren radiación en una dirección específica, como en sistemas de comunicación donde se necesita enfocar la señal hacia un receptor o área determinada (Pozar *et al.*, 2012).

Influencia del Sustrato Dieléctrico

El sustrato dieléctrico es un componente clave en el diseño de antenas microstrip patch, ya que sus propiedades, como la constante dieléctrica y el espesor, influyen directamente en la frecuencia de resonancia, el ancho de banda y la eficiencia de radiación. Sustratos con constantes dieléctricas bajas tienden a aumentar el ancho de banda y la eficiencia, pero pueden requerir dimensiones

mayores, mientras que sustratos con constantes dieléctricas altas permiten un diseño más compacto, aunque a costa de un ancho de banda más estrecho y mayores pérdidas (Garg *et al.*, 2001). La elección del sustrato es un equilibrio entre rendimiento, tamaño y costo, dependiendo de los requisitos de la aplicación.

Parámetros de Evaluación del Rendimiento

El rendimiento de una antena microstrip patch se evalúa a través de varios parámetros fundamentales que determinan su eficacia en aplicaciones prácticas. Estos parámetros incluyen la pérdida de retorno, la relación de onda estacionaria, la directividad, la ganancia, la eficiencia y el ancho de banda, cada uno proporcionando información específica sobre el comportamiento de la antena (Balanis *et al.*, 2016). A continuación, se detalla cada uno de estos parámetros.

1. *Pérdida de Retorno (S_{11})*: La pérdida de retorno, representada por el parámetro S_{11} , mide la cantidad de potencia reflejada por la antena en relación con la potencia incidente, indicando qué tan bien está adaptada la impedancia de la antena a la línea de alimentación. Un valor bajo de S_{11} , típicamente menor a -10 dB, es deseable, ya que significa que la mayor parte de la potencia se transfiere a la antena y no se refleja de vuelta, lo que asegura una transferencia eficiente de energía. Este parámetro es crucial para garantizar un rendimiento óptimo en sistemas de comunicación (Pozar *et al.*, 2012).
2. *Relación de Onda Estacionaria (VSWR)*: La relación de onda estacionaria (VSWR, por sus siglas en inglés: Voltage Standing Wave Ratio) refleja la calidad de la adaptación de impedancia entre la antena y la línea de alimentación. Un VSWR cercano a 1 indica una adaptación casi perfecta, con reflexiones mínimas, mientras que valores menores a 2 son generalmente aceptables para la mayoría de las aplicaciones. Un VSWR alto puede provocar pérdidas de potencia y reducir la eficiencia del sistema, por lo que es un parámetro esencial en la evaluación del diseño de la antena (Balanis *et al.*, 2016).

3. *Directividad*: La directividad mide la capacidad de la antena para concentrar la radiación en una dirección específica, expresada en dBi (decibelios respecto a una antena isotrópica). En las antenas microstrip patch, la directividad suele ser moderada, típicamente entre 6 y 9 dBi, debido a su patrón de radiación unidireccional, con un lóbulo principal orientado perpendicular al parche. Este parámetro es importante para aplicaciones que requieren un enfoque preciso de la señal, como en sistemas de radar o comunicaciones direccionales (Garg *et al.*, 2001).
4. *Ganancia*: La ganancia de la antena combina la directividad con la eficiencia de radiación, representando la capacidad real de la antena para radiar potencia en una dirección específica, también expresada en dBi. A diferencia de la directividad, la ganancia tiene en cuenta las pérdidas dieléctricas del sustrato y las pérdidas por conductividad en los materiales del parche y el plano de tierra, lo que suele resultar en un valor menor que la directividad. Una ganancia alta es deseable para aplicaciones de largo alcance, aunque en antenas patch puede ser limitada por las características del sustrato (Pozar *et al.*, 2012).
5. *Eficiencia*: La eficiencia de una antena microstrip patch se divide en eficiencia de radiación y eficiencia total. La eficiencia de radiación mide la relación entre la potencia radiada y la potencia aceptada por la antena, mientras que la eficiencia total incluye también las pérdidas por reflexión (mismatch). En antenas patch, la eficiencia suele ser afectada por las pérdidas dieléctricas del sustrato y la conductividad de los materiales, pudiendo variar ampliamente (30-90%) dependiendo del diseño y los materiales utilizados. Una alta eficiencia es crítica para maximizar el rendimiento de la antena (Kumar; Ray, 2003).
6. *Ancho de Banda*: El ancho de banda de una antena microstrip patch se define como el rango de frecuencias en el que la antena opera de manera eficiente, típicamente donde la pérdida de retorno es menor a -10 dB o el VSWR es menor a 2. Este parámetro es intrínsecamente estrecho en antenas patch, generalmente del 1-5% de la frecuencia central, lo que puede ser una limitación para aplicaciones que requieren operar en un rango amplio de frecuencias. Técnicas como el uso de sustratos más gruesos o configuraciones multibanda pueden aumentar el ancho de banda, pero a menudo a costa de otros parámetros como la eficiencia (Garg *et al.*, 2001).

Limitaciones y Técnicas de Optimización

Las antenas microstrip patch suelen tener un ancho de banda intrínsecamente estrecho, lo que puede ser una limitación para aplicaciones que requieren operar en un rango amplio de frecuencias. Este inconveniente puede mitigarse mediante técnicas de diseño como el uso de sustratos más gruesos, la introducción de ranuras en el parche, el apilamiento de múltiples parches o la configuración de arreglos de elementos, que también pueden mejorar la directividad y la ganancia (Garg *et al.*, 2001). Además, las pérdidas en el sustrato y los materiales conductores pueden reducir la eficiencia, un desafío que se aborda seleccionando sustratos de menor pérdida o mejorando la calidad de los metales utilizados (Pozar *et al.*, 2012).

Aplicaciones de las Antenas Microstrip Patch

Las antenas microstrip patch son versátiles y se emplean en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo comunicaciones inalámbricas, sistemas de radar, sensores remotos, dispositivos médicos y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT). Su diseño compacto y su capacidad de integración las hacen especialmente valiosas en dispositivos portátiles, como teléfonos móviles, tabletas y sensores inalámbricos, así como en sistemas de comunicación satelital y redes de sensores donde se requiere un bajo perfil y un rendimiento direccional adecuado (Kumar; Ray, 2003).

FÓRMULAS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE LA ANTENA PATCH

Las antenas de parche microcinta destacan por su facilidad de construcción, peso ligero y bajo costo. Una de sus principales ventajas es que pueden integrarse directamente en el mismo circuito que sus líneas de alimentación, lo que simplifica el diseño y reduce los costos de fabricación. Estas características han hecho que las antenas microcinta sean ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones de comunicaciones inalámbricas.

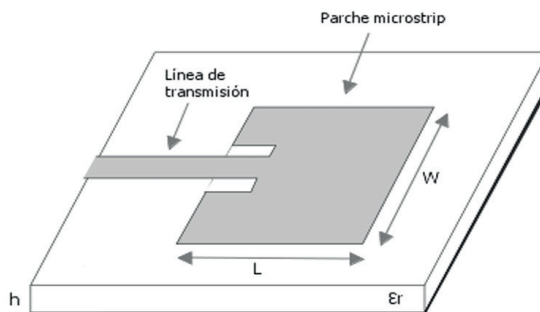
El diseño de una antena de parche depende de los requisitos específicos de la aplicación, incluyendo la frecuencia de resonancia, el rango de operación,

el ancho de banda, la adaptación de impedancia y el patrón de radiación. Estos factores determinan el rendimiento de la antena y su idoneidad para diferentes entornos y tecnologías de comunicación.

Las antenas de parche se basan en la tecnología de microcintas, como se muestra en la Fig. 4. Su estructura está compuesta por un parche de radiación, un sustrato dieléctrico con una permitividad relativa (ϵ_r) de hasta 12, dependiendo del material utilizado, y un plano de tierra.

El parche de radiación, generalmente fabricado en cobre o en oro, puede adoptar diversas geometrías, como circular, rectangular, cuadrada, elíptica, triangular o en forma de anillo, según los requerimientos de la aplicación. La elección de la forma influye en las características electromagnéticas de la antena, incluyendo su frecuencia de resonancia, patrón de radiación y eficiencia.

Figura 4. Antena Patch – Componentes Principales.



Fonte: Mateo López, G., & Parrón Granados, J. (2013).

Las fórmulas fundamentales para una antena microstrip patch con alimentación por línea microstrip se detallan a continuación.

a) **Ancho del Parche (W)**

El ancho de la antena parche, viene dada por la Ecuación 1.

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)}} \quad \dots Ec. 1$$

Donde, "c" es la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s), "f_o" es la frecuencia de operación y "ε_r" es la constante dieléctrica.

b) Permitividad Efectiva (ϵ_{reff})

La permitividad dieléctrica efectiva, está dada por las siguientes ecuaciones.

$$\text{Si, } \frac{W}{h} > 1:$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 * \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad \dots \text{Ec. 2}$$

$$\text{Si, } \frac{W}{h} \leq 1:$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 * \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \quad \dots \text{Ec. 3}$$

Dónde " ϵ_r " es la constante dieléctrica, " h " es la altura del sustrato eléctrico y " W " es el ancho del parche.

c) Longitud del parche (L)

El cálculo de la longitud efectiva está dado por la ecuación 4.

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad \dots \text{Ec. 4}$$

Donde, " c " es la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s), " f_0 " es la frecuencia de operación y " ϵ_{reff} " es la constante dieléctrica efectiva.

El cálculo del incremento de la extensión del parche está dado por la ecuación 5.

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad \dots \text{Ec. 5}$$

Por consiguiente, la longitud real de la antena de parche de microcinta está dada por la ecuación 6.

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad \dots \text{Ec. 6}$$

d) Dimensiones del plano de tierra y Gap

El cálculo del plano tierra de la antena parche, se calcula a través de las ecuaciones 7 y 8. La ecuación de Gap viene dada por la ecuación 9.

$$L_g = 6h + L \quad \dots Ec. 7$$

$$W_g = 6h + W \quad \dots Ec. 8$$

$$gap = \frac{h}{10} \quad \dots Ec. 9$$

El plano de tierra debe ser suficientemente grande (L_g y W_g) para minimizar efectos no deseados, con un tamaño mínimo de 6 veces el espesor más las dimensiones del parche. El gap es un valor empírico para la separación.

e) Ancho de la Línea de Alimentación (W_f)

La dimensión de la línea de alimentación, está en función del ancho " W_f " y el ancho " x_o " de la línea de alimentación de 50Ω . Se usa una de las dos expresiones según el valor de Z_o relativo a ϵ_r .

$$Si, Z_o > 44 - 2\epsilon_r:$$

$$W_f = h \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \quad \dots Ec. 10$$

$$\text{Donde: } A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} (0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r})$$

$$Si, Z_o \leq 44 - 2\epsilon_r:$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad \dots Ec. 11$$

$$\text{Donde: } B = \frac{60\pi^2}{Z_o \sqrt{\epsilon_r}}$$

f) Posición del inset (y_o)

La posición del inset y_o ajusta la impedancia de entrada al valor deseado Z_o . Se basa en la conductancia de radiación G_i y la conductancia mutua G_{12} , calculadas con funciones especiales (S_i y J_o) y una integral numérica. Cuya fórmula es la ecuación 10.

Con:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$$

$$G_1 = \frac{-2 + \cos(k * W) + k * W * Si(k * W) + \frac{\sin(k * W)}{k * W}}{120\pi^2}$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left(\frac{\sin\left(\frac{k * W}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right)^2 J_o(k * W \sin\theta) \sin^3\theta d\theta$$

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})}$$

$$y_o = \frac{L}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{R_{in}}{R_{ino}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \dots Ec. 10$$

Dónde “L” es la longitud real de la antena, “R_{in}” es la resistencia de entrada y “R_{ino}” es la resistencia de la línea.

CALCULOS DEL DISEÑO DE LA ANTENA PATCH

Para los cálculos del diseño de una antena microcinta de geometría rectangular, en este caso requiere de los siguientes parámetros, tal como se indica en la Tabla I.

Tabla 1. Requerimientos de Diseño.

Parámetros	Requerimiento
Frecuencia de operación	5.8 GHz
Substrato dieléctrico	FR-4
Constante dieléctrica	4.7
Altura del Substrato	1.6 mm
Conductor eléctrico perfecto (PEC)	0.035 mm
Impedancia de la antena	50 Ω

Fuente: Propia.

A continuación, se procede a realizar los cálculos con los requerimientos de la antena. Se hace uso de las fórmulas anteriormente explicadas.

I. Cálculo del ancho del parche:

$$W = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 5.8 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{4.3+1}{2}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11.6 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{5.3}{2}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11.6 \cdot 10^9 \sqrt{2.65}}$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8}{1.8884 \cdot 10^9} \approx 0.0158869m \approx 15.8869mm$$

II. Cálculo de permitividad eléctrica

Primero calculamos $\frac{W}{h}, \frac{W}{h} = \frac{0.0158869}{0.0016} \approx 9.9293$, como $\frac{W}{h} > 1$, usamos la ecuación 2.

$$\epsilon_{reff} = \frac{4.3+1}{2} + \frac{4.3-1}{2} \left[1 + 12 \cdot \frac{0.0016}{0.0158869} \right]^{-\frac{1}{2}} = 2.65 + 1.65(1 + 1.2084)^{-0.5}$$

$$= 2.65 + 1.65 \cdot 0.6729 = 3.7603$$

III. Cálculo de la longitud del parche

Primero calculamos la longitud efectiva.

$$L_{eff} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 5.8 \cdot 10^9 \sqrt{3.7603}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.2497 \cdot 10^{10}} \approx 0.013336m$$

Segundo calculamos la extensión de la longitud.

$$\Delta L = 0.412 \cdot 0.0016 \frac{(3.7603 + 0.3)(9.9293 + 0.264)}{(3.7603 - 0.258)(9.9293 + 0.8)} \approx 0.000726m$$

Finalmente calculamos la longitud con la ecuación 6.

$$L = 0.013336 - 2 \cdot 0.000726 \approx 0.011884m \approx 11.8848mm$$

IV. Cálculo del ancho de la línea de alimentación

$44 - 2 \cdot 4.3 = 35.4, Z_o = 50 > 35.4$. Por lo tanto, usamos la ecuación 10.

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.3+1}{2}} + \frac{4.3-1}{4.3+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.3} \right) = 0.8333\sqrt{2.65} + \frac{3.3}{5.3} (0.23 + 0.0256)$$

$$= 0.8333 * 1.6279 + 0.6226 * 0.2556 \approx 1.356 + 0.1591 \approx 1.5151$$

$$W_f = 0.0016 \frac{8e^{1.5151}}{e^{3.0302} - 2} = 0.0016 \frac{36.416}{18.72} \approx 0.003118m \approx 3.118mm$$

V. Cálculo de la posición del inset

Para el cálculo de la posición del inset se uso el lenguaje Python, donde R_{in} , G_1 y $G_{1,2}$ se calcularon numéricamente por código, dando como resultado lo siguiente.

$R_{in}=366.8995$. Luego usamos la ecuación 10.

$$y_o = \frac{0.011884}{\pi} * \arccos \left(\frac{366.8995}{50} \right)^{\frac{1}{2}} \approx 0.004512m \approx 4.5120mm$$

VI. Cálculo del plano de tierra y Gap

Para estos cálculos, usamos las ecuaciones 7, 8 y 9.

$$L_g = 6 * 0.0016 + 0.011884 \approx 0.021484m \approx 21.484mm$$

$$W_g = 6 * 0.0016 + 0.0158869 \approx 0.0254869m \approx 25.4869mm$$

$$ap = \frac{0.0016}{10} = 0.0016m = 0.16mm$$

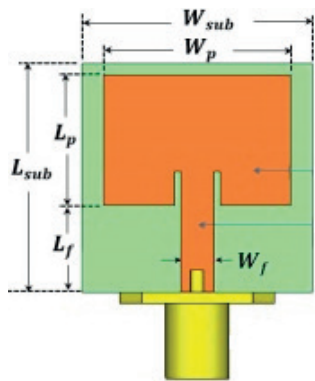
Los resultados del diseño aplicado a la frecuencia 5.8 GHz de la antena Microstrip son los que se muestran en la Tabla 2 y las medidas de referencia en la Figura 5.

Tabla 2. Resultados del diseño.

Resultados	Frecuencia 5.8GHz
ϵ_r	4.7
h	1.6 mm
$L=L_p$	11.8848 mm
$W=W_p$	15.8869 mm
$L_g=L_{sub}$	21.4848 mm
$W_g=W_{sub}$	25.4869 mm
$x_o=G_{pf}$	0.16 mm
$y_o=F_i$	4.5120 mm
W_f	3.1118 mm

Fuente: Propia.

Figura 5. Antena Patch – Componentes Principales.

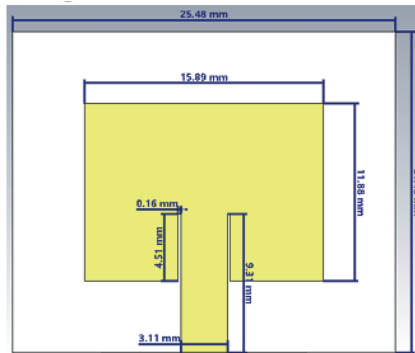


Fuente: Jabar, A. A., & Naji, D. K. (2019).

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

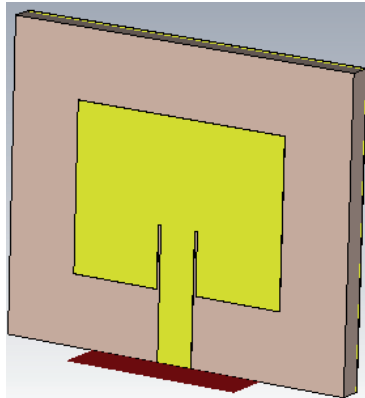
Para la simulación de los datos obtenidos, se empleó el software Computer Simulation Technology (CST). A partir de esta simulación, se generaron diversas gráficas, incluyendo la forma de la antena patch, la pérdida de retorno, el VSWR, el diagrama de radiación y la radiación polar. En la Figura 7 se presenta la vista frontal de la antena simulada, mientras que en la Figura 8 se muestra la visualización en 3D de la misma.

Figura 7. Vista Frontal – Antena Simulada.



Fuente: Propia.

Figura 8. Vista 3D – Antena Simulada.



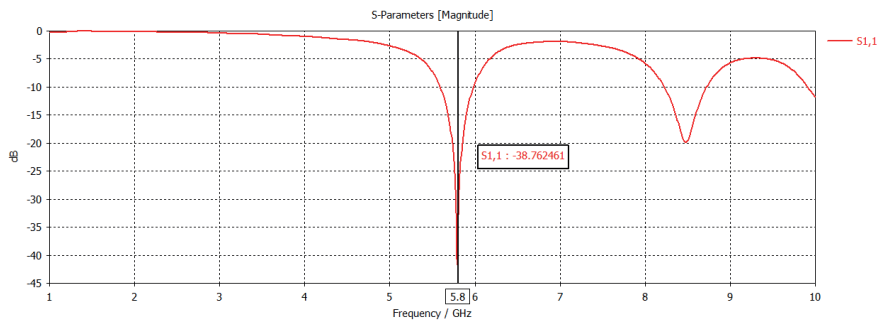
Fuente: Propia.

A la frecuencia de 5.8 GHz, se obtuvo una pérdida de retorno (S_{11}) de -38.76 dB como se puede observar en la Figura 9, indicando que menos del 0.01% de la potencia incidente se refleja, lo que supera ampliamente el umbral aceptable de -10 dB. Este valor refleja una optimización efectiva de la posición del inset (4.5120 mm) y las dimensiones del parche, logrando una impedancia de entrada muy cercana a los 50 Ω deseados.

Además, se muestra otra frecuencia de resonancia adicional de aproximadamente 8.48 GHz ($S_{11} \approx -20$ dB), lo que sugiere que la antena tiene modos de resonancia secundarios. Aunque estas resonancias no son el objetivo principal

del diseño (centrado en 5.8 GHz), podrían ser útiles para aplicaciones multi-banda si se optimizan, o podrían ser indeseadas si interfieren con otras bandas.

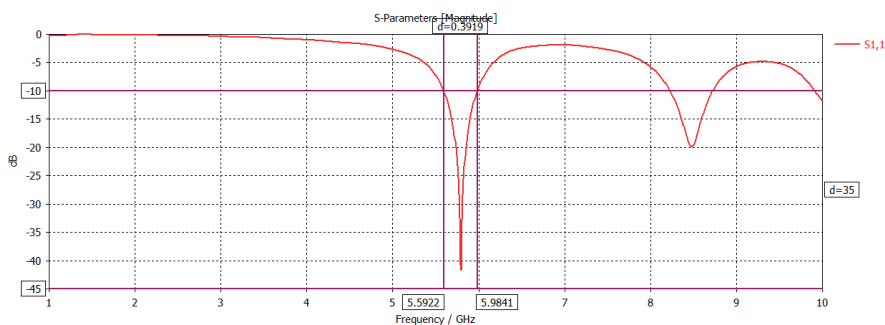
Figura 9. Parámetros S - Perdida de Retorno.



Fuente: Propia.

En la Figura 10 se analiza el ancho de banda efectivo de la antenna a partir de la pérdida de retorno. Se identifican los puntos en 5.5922 GHz y 5.9841 GHz, donde S_{11} cruza el umbral de -10 dB, considerado como el límite convencional para definir el ancho de banda de una antenna. La diferencia entre estos dos valores proporciona un ancho de banda de aproximadamente 392 MHz, lo que indica que la antenna puede operar de manera eficiente dentro de este rango de frecuencias sin afectar significativamente su desempeño.

Figura 10. Parámetros S - Perdida de Retorno.

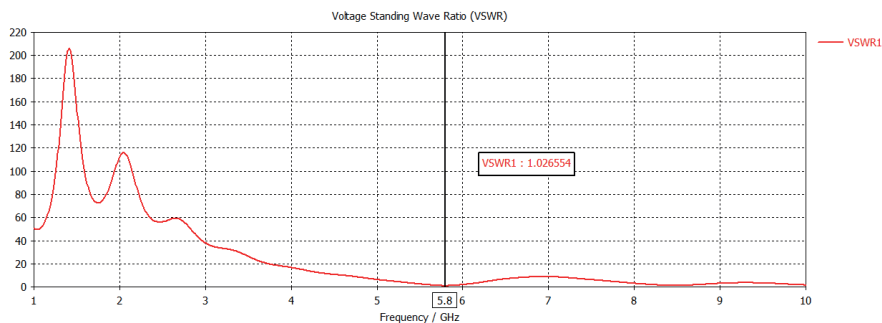


Fuente: Propia.

Se muestra la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de la antenna diseñada en la Figura 11, con un valor mínimo de 1.0265 en 5.8 GHz, indicando

una adaptación de impedancia casi perfecta. Un VSWR cercano a 1 minimiza las pérdidas por reflexión y maximiza la eficiencia de transmisión. Lo que implica que la impedancia de la antena está muy bien adaptada a los 50 Ω de la línea de alimentación, minimizando las reflexiones de potencia y asegurando una transferencia eficiente de energía.

Figura 11. Parámetros VSWR.



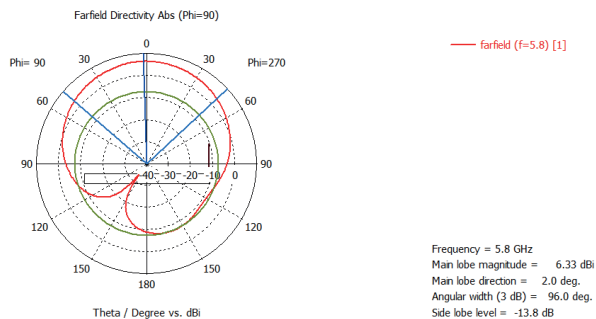
Fuente: Propia.

El diagrama de radiación polar en el plano $\phi = 90^\circ$ a 5.8 GHz se muestra en la Figura 12, donde revela una directividad de 6.33 dBi, con un lóbulo principal orientado a 2.0° y un ancho angular a -3 dB de 96.0° , ideal para cobertura amplia en entornos con obstáculos. El nivel de lóbulos secundarios alcanza -13.8 dB, indicando un comportamiento unidireccional adecuado con un lóbulo principal amplio y buena supresión de radiación no deseada. La antena muestra un equilibrio entre direccionalidad y cobertura, apta para aplicaciones en Wi-Fi, dispositivos IoT portátiles o sistemas de monitoreo médico donde la miniaturización es crítica. Sin embargo, el rendimiento podría mejorarse empleando sustratos de menor pérdida y ajustando la geometría para reducir lóbulos secundarios.

Mientras que en las Figuras 12 (a) y 12 (b) se muestran los diagramas de radiación en 3D de la antena microstrip a 5.8 GHz, donde se muestra una directividad máxima de 6.321 dBi, orientada predominantemente a lo largo del eje Z ($\approx 0^\circ$). La eficiencia radiada es de -2.778 dB (52.8%), mientras que la eficiencia total, que incluye pérdidas por reflexión, es de -2.796 dB (52.5%), reflejando que las pérdidas dieléctricas y de tangente de pérdida del FR4 a alta frecuencia, junto con posibles pérdidas por conductividad en el parche y

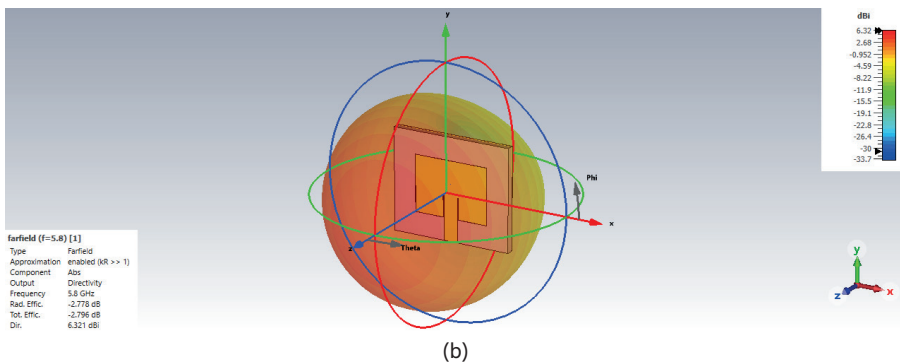
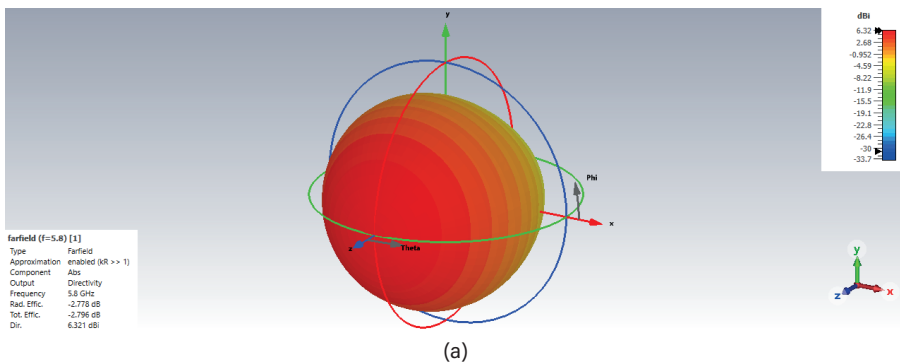
el plano de tierra, reducen significativamente la potencia radiada respecto a la aceptada, afectando la ganancia radiada implícita (directividad menos pérdidas) y limitando el rendimiento global de la antena en la banda de 5.8 GHz.

Figura 11. Diagrama de Radiación Polar.



Fuente: Propia.

Figura 12. Diagrama de Radiación 3D. (a) envoltura total, (b) envoltura transparente.



Fuente: Propia.

CONCLUSIÓN

La antena microstrip patch diseñada para operar a 5.8 GHz con sustrato FR4 y simulada en CST Studio Suite exhibe un rendimiento aceptable, aunque con limitaciones derivadas del material. Los resultados muestran una pérdida de retorno (S_{11}) de -38.762 dB y un VSWR de 1.026554 a 5.8 GHz, indicando una excelente adaptación de impedancia, mientras que el ancho de banda de 392 MHz asegura una cobertura amplia en la banda de 5.8 GHz. La directividad máxima de 6.321 dBi, junto con un patrón de radiación unidireccional de lóbulo principal amplio (96.0° a -3 dB) y lóbulos secundarios bajos (-13.8 dB), refleja un buen comportamiento direccional. Sin embargo, la eficiencia radiada (52.8%) y total (52.5%) son moderadas debido a las pérdidas dieléctricas del FR4, lo que reduce la ganancia radiada y limita el rendimiento general de la antena.

Para mejorar estos resultados, se recomienda utilizar un sustrato con menor tangente de pérdida, como Rogers RO4003 ($\epsilon_r \approx 3.55$, $\tan \delta \approx 0.0027$), que minimizaría las pérdidas dieléctricas y aumentaría la eficiencia y ganancia, aunque incrementaría el costo. También se podrían implementar técnicas de diseño como ranuras, apilamiento de parches o arreglos para mejorar el ancho de banda y la directividad.

Esta antena es adecuada para aplicaciones de corto alcance en la banda de 5.8 GHz, como sistemas RFID, comunicaciones inalámbricas en redes de sensores, enlaces punto a punto en sistemas de telemetría, y aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) que operen en esta frecuencia, beneficiándose de su bajo costo, facilidad de fabricación y perfil compacto, a pesar de las limitaciones en eficiencia impuestas por el FR4.

Agradecimientos

Esta investigación contó con el apoyo del Laboratorio Institucional de Investigación, Emprendimiento e Innovación en Sistemas de Control Automático, Automatización y Robótica (LIECAR) de la Universidad de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

REFERENCIAS

BALANIS, C. A. *et al.* Antenna Theory: Analysis and Design. Wiley, Hoboken, NJ, ed. 4, p. 1-1136, ene. 2016.

JABAR, A. A.; NAJI, D. K. Design of miniaturized quad-band dual-arm spiral patch antenna for RFID, WLAN and WiMAX applications. Progress In Electromagnetics Research C, Electromagnetics Academy, US, v. 91, n. 1, p. 97-113, mar. 2019.

MAGALHAES, F. J. S.; OLIVEIRA, D. B. Design of low-cost microstrip patch antennas with robust optimization. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Taylor & Francis, UK, v. 35, n. 4, p. 454-465, nov. 2020.

MATEO LÓPEZ, Gerard; PARRÓN GRANADOS, Josep. Modelado circuital de diferentes configuraciones de antenas microstrip. 2013.

POZAR, D. M. *et al.* Microwave Engineering. Wiley, Hoboken, NJ, ed. 4, p. 1-756, feb. 2012.

GARG, R. *et al.* Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House, Norwood, MA, ed. 1, p. 1-845, ene. 2001.

KUMAR, G.; RAY, K. P. Broadband Microstrip Antennas. Artech House, Norwood, MA, ed. 1, p. 1-424, mar. 2003

ENERGIA SOLAR NA CONSTRUÇÃO CIVIL NOS GERAIS DE BALSAS, MARANHÃO: UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE

Natália dos Santos Mota
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Vinicius Farias de Albuquerque
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Regina Maria Mendes Oliveira
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

RESUMO

Considerando a importância dos recursos energéticos renováveis, o objetivo desta pesquisa é analisar o uso de energia solar na construção civil nos Gerais de Balsas-MA. Realizou-se estudo bibliográfico, aplicação de questionários e simulação de um sistema fotovoltaico. Os dados indicaram que: o uso de sistemas fotovoltaicos integrados à construção ainda é pontual; há alto índice de irradiação solar na região; no consumo de 1000 kWh/mês a economia com o uso de energia solar foi de cerca de 80%, e o consumo anual de 11.400,00 kWh reduz a emissão de 280,44 kg de gás carbônico. Portanto, a aplicação da energia solar em edificações é uma alternativa viável para construções mais sustentáveis e conta com uma percepção otimista da população.

Palavras-chave: construções verdes; eficiência energética; energia renovável.

INTRODUÇÃO

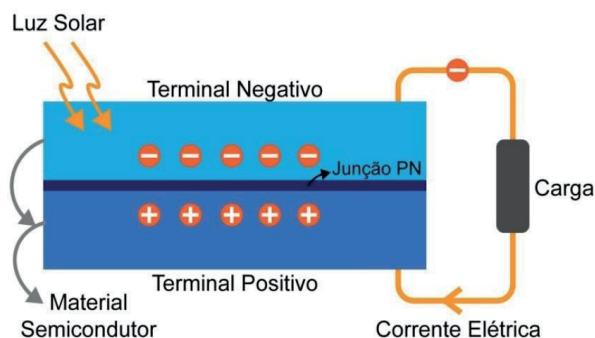
O uso dos combustíveis fósseis ainda é predominante na matriz energética, representando 81,2% da oferta mundial de energia no ano de 2018 [IEA, 2020a]. Mas combustível fóssil é um recurso natural de energia limitado, já que leva milhões de anos para se formar e, por isso, é considerado “não renovável”, gerando preocupações ambientais.

No entanto, 64% da oferta de eletricidade no Brasil é proveniente de hidrelétricas, mas estas dependem da variação dos ciclos hidrológicos e são suscetíveis às mudanças climáticas, o que torna a energia solar importante no campo da diversificação da matriz energética renovável [CBIC, 2017].

A energia solar é a fonte que apresenta a maior expansão de capacidade de geração instalada anualmente no mundo [IRENA, 2020] e, estudos realizados por Moreira Junior e Souza (2020), sobre o aproveitamento fotovoltaico, mostram que o Brasil tem potencial promissor.

A energia solar fotovoltaica é a energia produzida pela transformação da luz em eletricidade, em que a célula formada por semicondutores é a unidade responsável pelo processo de conversão [Pinho e Galdino, 2014]. A Figura 1 mostra o esquema de funcionamento simplificado de uma célula fotovoltaica. À medida que a luz solar incide na superfície da célula, os elétrons livres se movimentam devido uma tensão resultante do efeito fotovoltaico. O circuito externo, que conecta a parte positiva à negativa, dá origem a corrente elétrica, a qual é dependente da incidência da luz e da capacidade de absorção do material semicondutor. Um módulo fotovoltaico é formado pela junção de várias células.

Figura 1. Esquema de funcionamento da célula fotovoltaica de silício [Morais, 2020].



Em escala mundial, o setor da indústria de construção civil consumiu 35% da produção total de energia em 2019, com participação de 38% das emissões globais de CO₂ relacionadas ao uso de eletricidade [IEA, 2020b]. No Brasil, o setor consumiu cerca de 50% da energia elétrica em 2017 [EPE, 2018]. Por isso, é essencial o estudo de novas tecnologias energéticas que possam se integrar a proposta de construções mais sustentáveis [CBIC, 2017].

Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é analisar os tipos, as características das tecnologias de geração de energia elétrica a partir da radiação solar e avaliar a disponibilidade e viabilidade de uso na construção civil na região dos Gerais de Balsas, no Estado do Maranhão.

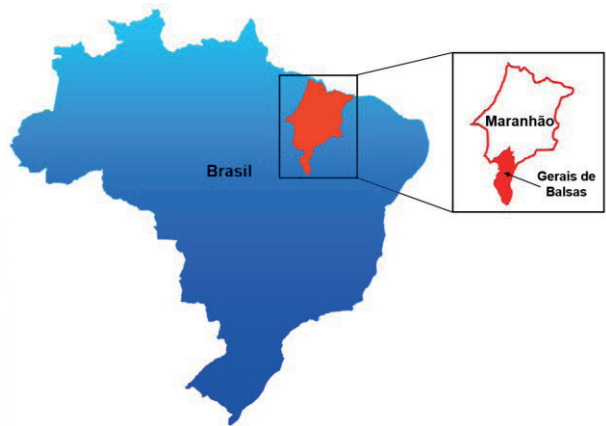
METODOLOGIA

Essa pesquisa é do tipo exploratória de natureza qualitativa [Oliveira, 2007]. Inicialmente, analisou-se os tipos e as características de células solares a partir de pesquisa bibliográfica, a qual refere-se ao estudo e análise de documentos científicos de domínio público. Também foi realizado o levantamento dos diferentes tipos de dispositivos solares nos principais sites de empresas que comercializam esses materiais no Brasil. Por fim, foi feito um estudo de caso na região dos Gerais de Balsas a fim de se avaliar a viabilidade econômica do uso da energia solar, a disponibilidade de radiação nos municípios, a percepção da comunidade e a presença de serviços especializados.

Área do estudo

Os Gerais de Balsas é uma região de planejamento administrativa que fica localizada no Sul do Estado do Maranhão (Figura 2), e envolve seis municípios: Alto Parnaíba, Balsas, Fortaleza dos Nogueiras, Nova Colinas, Riachão e Tasso Fragoso [Maranhão, 2008].

Figura 2. Localização da região dos Gerais de Balsas [adaptado de Maranhão, 2008].



Na Tabela 1 são mostrados os dados geográficos e populacional dos municípios dos Gerais de Balsas, em que Balsas é o mais populoso e com maior extensão territorial.

Tabela 1. Dados geográficos dos municípios da região dos Gerais de Balsas, adaptado de IBGE (2010) e IBGE (2020).

Município	Área (Km²) em 2020	Latitude	Longitude	População em 2010
Alto Parnaíba	11.127,384	-9.1114	-45.9305	11.2012
Fortaleza dos Nogueiras	1.853,406	-6.9602	-46.1788	11.646
Balsas	13.141,162	-7.53292	-46.035	83.528
Nova Colinas	743,085	-7.116389	-46.257222	4.885
Riachão	6.402,830	-7.36012	-46.6146	20.209
Tasso Fragoso	4.369,159	-8.46798	-45.7573	7.796

Estudo de caso

O estudo de caso é um método de pesquisa que, em geral, baseia-se em dados qualitativos obtidos a partir de situações reais visando explicar, explorar ou descrever fenômenos relacionados ao contexto na atualidade [Eisenhardt, 1989].

As irradiações global horizontal, no plano inclinado e difusa foram obtidas a partir do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar [Pereira *et al.*, 2017], o qual é baseado em informações do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, do Instituto Nacional de Pesquisas

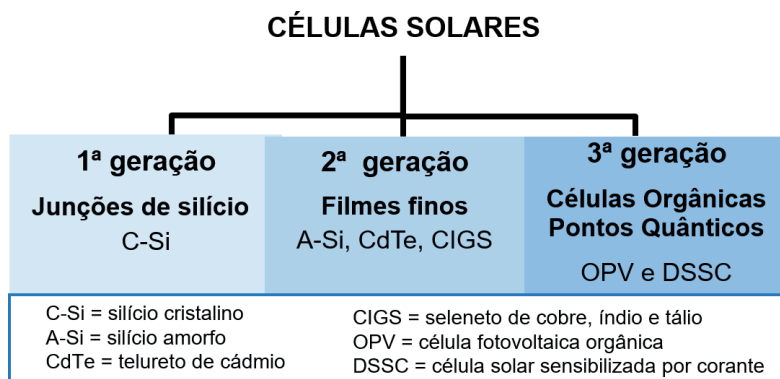
Espaciais. A pesquisa de campo envolveu a realização de entrevistas semiestruturadas com consumidores e o gestor de uma empresa local fornecedora de serviços de venda e instalação de sistemas fotovoltaicos. Na ocasião, o Termo de Consentimento Livre foi previamente apresentado. Além disso, foram aplicados questionários sobre a energia solar, de forma *online* pela plataforma "Formulários *Google Docs*", para a população geral e a profissionais da construção (arquitetos e engenheiros civis) da região dos Gerais Balsas no período 20 de julho a 15 de agosto de 2021. A divulgação do *link* virtual foi feita com a ajuda de representantes da comunidade e via redes sociais. Os dados foram organizados em formato tabular, possibilitando melhor discussão dos resultados a partir de gráficos e tabelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais tipos de células solares

Basicamente, existem três gerações de células solares (Figura 3).

Figura 3. Gerações de células solares, adaptado de Vasconcelos (2013).



As células da primeira geração possuem maior representatividade no mercado global atualmente, cerca de 84%, e se baseiam no uso do silício cristalino (C-Si), sendo subdividido em duas categorias de fabricação: mono-cristalino (m-Si) e policristalino (p-Si). São chamados de primeira geração por serem os primeiros tipos de células solares a serem comercializadas

mundialmente. As células de m-Si possuem maior eficiência de laboratório na conversão em energia elétrica, com máxima de 26,7% [Fraunhofer ISE, 2019]. Tal eficiência é favorecida pelo fato das células de m-Si serem formadas por um único cristal, o que favorece o fluxo de elétrons. Porém, alto custo e grande quantidade de material e energia envolvidos no processo de fabricação ainda são obstáculos a serem ultrapassados [Torres *et al.*, 2019]. Já as células p-Si são formadas por diversos cristais não uniformes, cujo processo de purificação é menos complexo e de menor custo, mas com eficiência máxima em laboratório de 24,4% [Fraunhofer ISE, 2019]. Assim, a diferença de eficiência entre as células de primeira geração está relacionada à uniformidade da estrutura molecular e ao nível de pureza do silício.

A segunda geração corresponde aos filmes finos comerciais, cujas células possuem apenas alguns micrômetros de espessura, podendo ser flexíveis [Marques, 2014] e, assim, contribuir para diversas aplicações na arquitetura. Nessa categoria o mercado é representado principalmente por materiais à base de “silício amorfo (A-Si), CIGS (seleneto de cobre, índio, gálio), CdTe (telureto de cádmio) ou CZTS (sulfeto de cobre, zinco, estanho)” [Raphael *et al.*, 2017, p. 61]. São tecnologias relativamente mais baratas, com menor utilização de materiais e energia, mas possui menor eficiência que a geração anterior, com máxima de 23,4% em laboratório para a célula CIGS [Fraunhofer ISE, 2019] e de 17,4% no módulo comercial, cuja discrepância se dá em razão da cinética de crescimento dos cristais em grande escala. No entanto, a baixa eficiência e a demanda no processo de fabricação por materiais tóxicos e escassos na natureza (como o índio), prejudicam a disseminação desses produtos no mercado.

A terceira geração, ou de filmes finos emergentes, são uma perspectiva promissora para o futuro por ter como principais objetivos conciliar alta eficiência e baixo custo, além do processo de fabricação dessas células envolver novas metodologias e materiais alternativos, abundantes e não tóxicos. São exemplos as células solares sensibilizadas por corantes (DSSC, *Dye Sensitized Solar Cells*), as células solares orgânicas, as de pontos quânticos e as de perovskitas. Dentre estas, as do tipo DSSC vêm chamando a atenção de pesquisadores, pois fatores como facilidade de produção combinados a maior flexibilidade no design e geração elétrica mais estável, devido ao funcionamento mesmo sob baixa luminosidade viabilizariam um grande alcance comercial [Tractz *et al.*, 2020].

Nessa tecnologia, os complexos de rutênio estão entre os primeiros corantes inorgânicos desenvolvidos, e são ainda os mais usados devido à sua alta estabilidade térmica e química. Exemplos são o N3, o N719 e o N749, com eficiência superior a 10%. Porém, tais corantes ainda apresentam vários obstáculos para a ampla comercialização dos módulos fotovoltaicos, devido à funcionalização limitada, alto custo de síntese, etapas de purificação demoradas e escassez do rutênio na natureza [Błaszczuk *et al.*, 2021].

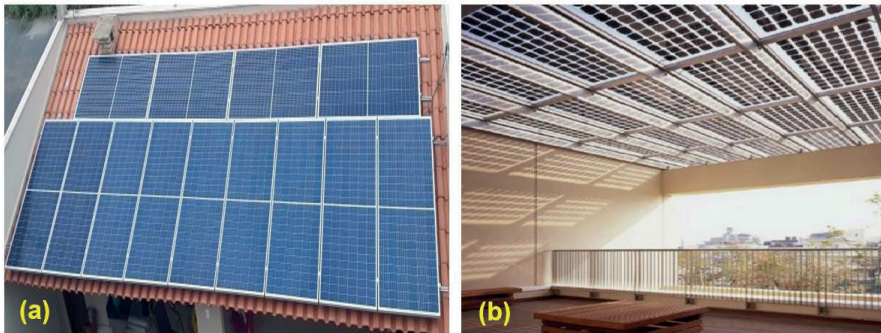
Nota-se que nas três gerações de células solares há entraves tecnológicos que requerem aperfeiçoamento para melhor atender à população quanto à acessibilidade. Em termos de custo de fabricação, as células de terceira geração atendem melhor a este quesito, mas para que a comercialização seja viável ainda é necessário atingir o grande objetivo de eficiência e estabilidade, cuja busca deve identificar as mais ideais em termos de parâmetros físicos, químicos e de avaliação do ciclo de vida sustentável.

Sistemas fotovoltaicos na construção civil e disponibilidade no mercado

A geração de eletricidade a partir de fonte fotovoltaica se divide em dois grupos: *on grid* e *off grid* [Bortoloto *et al.*, 2017]. O sistema *on grid* é constituído por painéis (isto é, agrupamento de módulos fotovoltaicos que realizam a conversão da energia solar em elétrica) e inversores, os quais convertem a corrente contínua em corrente alternada. Caso o sistema produza acima do seu consumo, os créditos são injetados na rede. Já os sistemas *off grid* são autônomos, pois a energia produzida pelos painéis é armazenada em baterias.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser aplicados nas edificações de duas formas diferentes [Didoné, Wagner e Pereira, 2014]. Os sistemas Fotovoltaicos Aplicados à Construção (BAPV, *Building Applied Photovoltaic*) podem ser aplicados sobre a estrutura de construções já existentes (Figura 4(a)), enquanto que os sistemas Fotovoltaicos Integrados à Construção (BIPV, *Building Integrated Photovoltaic*), podem substituir materiais funcionais da construção (Figura 4(b)).

Figura 4. Telhados com o sistema: (a) BAPV; (b) BIPV [Peng, 2011].



No sistema BAPV os elementos fotovoltaicos instalados não substituem um material construtivo, sendo sobrepostos após construção da edificação. Geralmente há a necessidade de estruturas adicionais de montagem para auxiliar na fixação dos elementos e o desempenho da geração de energia é prejudicado por conta da orientação não ideal. Por sua vez, os sistemas BIPV possuem os módulos integrados a elementos construtivos que envelopam o edifício, em que fatores como sombreamento e inclinação ideal podem ser predefinidos nas etapas iniciais do projeto, contribuindo para a eficiência energética da edificação. Os elementos fotovoltaicos nos sistemas BIPV exercem as mesmas funções que as coberturas, fachadas ou revestimentos convencionais, abrangendo fatores como dimensão dos elementos de vedação, impermeabilidade, resistência a cargas, longevidade, manutenção e segurança [Chivelet e Solla, 2010].

Os painéis de silício m-Si e p-Si ainda são os que dominam o mercado fotovoltaico, por serem produzidos em maior escala e terem valores comerciais mais atrativos. Quanto ao uso na construção civil, geralmente são aplicados nas coberturas dos edifícios. Santos (2013) destaca que os painéis solares podem substituir telhados inclinados, planos ou curvilíneos e resistir a variações climáticas diversas.

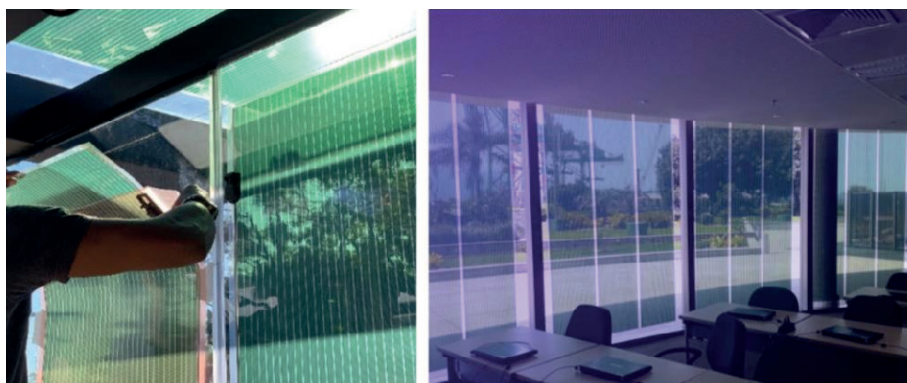
O Quadro 1 mostra o levantamento dos principais componentes da cadeia de geração solar fotovoltaica comercializados no Brasil. Em geral, junto aos painéis são comercializados os inversores e as estruturas de fixação e, em casos de estruturas de solo, os *trackers*, os quais alteram o posicionamento dos painéis ao longo do dia a fim de se obter maior eficiência energética.

Quadro 1. Principais tecnologias solares comercializadas no mercado brasileiro.

Dispositivo	Empresa	Website
Painel fotovoltaico	Canadion Solar	https://www.canadiansolar.com/br/
Painéis Filmes Finos	Rbi Solar	https://www.rbisolar.com/
Inversores	Weg	https://www.weg.net/institu-tional/BR/pt/
Estruturas/Trackers	Solar Group	https://solargroup.com.br/
Telha solar	Tesla	https://www.tesla.com/
Vidro fotovoltaico	Sunew	https://www.sunew.co/
Fitas orgânicas	Sunew	https://www.sunew.co/
Película fotovoltaica	Sunew	https://www.sunew.co/

As telhas solares que desempenham a função de cobertura são comercializadas no Brasil em material cimentício, cerâmicas ou vidros temperados, tendo como principal vantagem a facilidade de montagem. Os vidros solares podem ser usados em coberturas, janelas, claraboias e fachadas. O Brasil já conta com empresas nacionais, como a Sunew, que é líder mundial em tecnologia fotovoltaica orgânica (OPV, *Organic Photovoltaic*), fabricando filmes, fitas e películas fotovoltaicas que possuem diversas possibilidades de integração em edificações, podendo ser sobrepostas a materiais diversos (Figura 5).

Figura 5. Aplicação de película semitransparente em superfície de vidro de edifício [Sunew, 2020].



Como observado, leveza, semitransparência e flexibilidade são características que ampliam as possibilidades de aplicação dos materiais em edificações, e que tornam as células solares emergentes promissoras no mercado fotovoltaico futuro. Além disso, a variedade de cores e a capacidade de explorar luz difusa

são outros destaques importantes das células emergentes DSSCs, cuja versatilidade permite prever o potencial para alcançar e dominar diferentes nichos do mercado fotovoltaico, especialmente no setor de sistemas integrado em edifícios, até mesmo em ambientes e dispositivos internos, onde desempenho sob baixa intensidade de luz pode se traduzir em uma importante vantagem comercial.

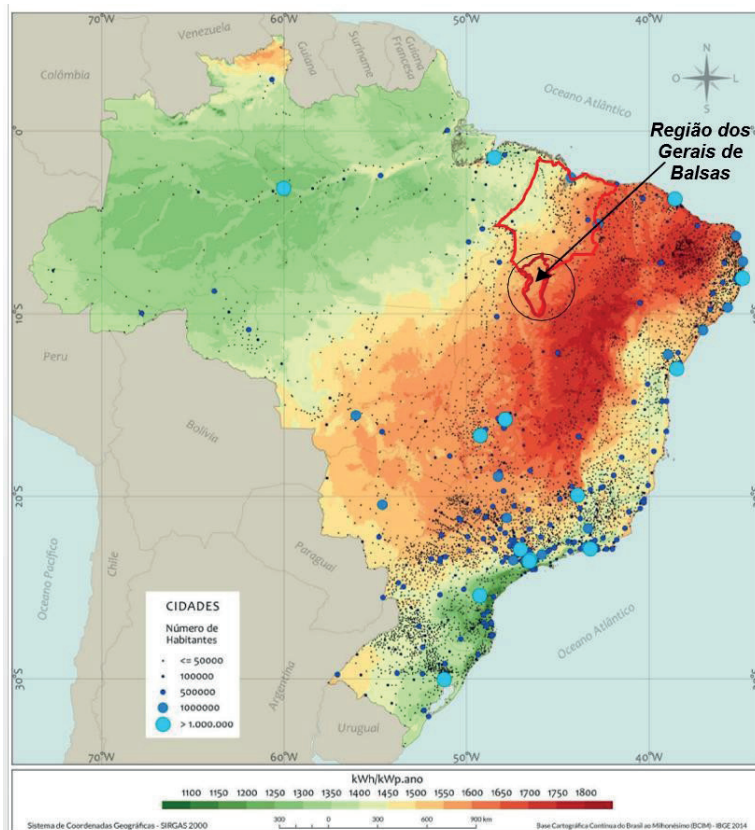
De fato, o mercado BIPV, que comercializa materiais para as edificações, ainda é pontual e de baixa escala, devido ao alto custo de investimento. No entanto, esse segmento está em desenvolvimento no país e apresenta perspectiva promissora de crescimento futuro.

Em entrevista com gestor de uma empresa de energia solar, localizada em Balsas- MA, que atende os seis municípios dos Gerais de Balsas desde o ano de 2018, o entrevistado 01 disse que os principais dispositivos solares comercializados na Região dos Gerais de Balsas são os “Kits Solares”. Estes são constituídos por painel fotovoltaico, geralmente em silício mono ou policristalino, inversor e estrutura de fixação, em que as principais aplicações são nos sistemas BAPV. Quando as edificações não suportam a carga dos painéis ou a área do telhado não possui dimensões suficientes para a montagem, uma alternativa são as estruturas de solo, que podem desempenhar o papel de estações solares. Mas até então só existem alguns projetos de implantação na região. A exemplo, há uma instalação no Parque Centenário da cidade de Balsas com pérgolas de tecnologia OPV, que além de desempenharem função de cobertura geram energia para carregar celulares, *tablets*, etc.

Viabilidade

A região dos Gerais de Balsas possui altos índices de radiação e com pouca variação ao longo do ano. Como é mostrado na Figura 6, o rendimento energético anual para essa Região está entre 1500-1550 kWh/KWp.ano (isto é, kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada).

Figura 6. Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para o Brasil [adaptado de Pereira et al., 2017].



Na Tabela 2, obtida a partir do banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), são listados os valores de irradiação anual dos seis municípios da região dos Gerais de Balsas, cuja média de irradiação solar global horizontal diária é de 5,33 kWh/m². Este valor é próximo ao da região Nordeste do Brasil (5,48 kWh/m²), a qual possui os maiores níveis de incidência solar do país [Pereira et al., 2017], devido à localização mais próxima à linha do Equador.

Tabela 2. Irradiação anual dos municípios dos Gerais de Balsas no ano de 2017.

Município	Irrad. global horizontal (Wh/m ² .dia)	Irrad. no plano inclinado (Wh/m ² .dia)	Irrad. difusa (Wh/m ² .dia)
Alto Parnaíba	5508	5570	2024
Balsas	5350	5394	2074
Fortaleza dos Nogueiras	5224	5271	2132
Nova Colinas	5212	5260	2140
Riachão	5208	5257	2116
Tasso Fragoso	5476	5533	2026

Segundo Moreira Júnior e Souza (2020), a Alemanha *"recebe 40% menos radiação do que o lugar menos ensolarado do Brasil e, mesmo assim, é o país em que a tecnologia fotovoltaica já se encontra em estágio muito avançado tanto de pesquisa quanto de instalações"*. Tais fatos evidenciam o potencial solar da Região dos Gerais de Balsas para o aproveitamento fotovoltaico.

Além do potencial solar, o entrevistado 01 (gestor empresarial do ramo fotovoltaico da região) explicou um dos motivos que levou a empresa a atuar nessa região: *"Essa é uma região promissora, de fronteira. O agronegócio nos dá mais abertura para investimentos e, por isso escolhemos a cidade de Balsas para a instalação de uma de nossas filiais."* Ele ainda destacou os ganhos relacionados à sustentabilidade ambiental e econômica, e enfatizou que existe procura para instalação de novos sistemas por todas as classes de consumo (residencial, comercial, industrial e rural), existindo ainda muito espaço para crescimento desse recurso energético na região.

A Tabela 3, elaborada a partir dos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL, 2021], mostra o número de unidades fotovoltaicas instaladas na região e suas respectivas potências.

Tabela 3. Unidades fotovoltaicas conectadas na rede de distribuição de energia nos municípios da região dos Gerais de Balsas, em 2021.

Município	Nº de unidades que recebem créditos	Potência instalada (kW)
Alto Parnaíba	4	59,90
Balsas	549	5902,84
Fortaleza dos Nogueiras	33	377,55
Nova Colinas	3	17,50
Riachão	49	262,64
Tasso Fragoso	13	89,71

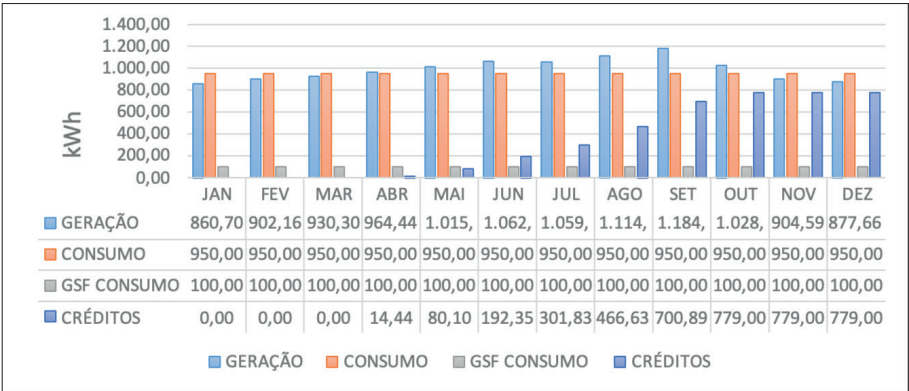
Os dados mostram que o número de unidades fotovoltaicas instaladas na região ainda é pequeno, com 651 no total, dos quais cerca de 84% estão em Balsas-MA. O município de Balsas conta com quatro empresas privadas que prestam serviços de venda, instalação e manutenção de equipamentos solares. Além disso, este possui o maior PIB (Produto Interno Bruto) entre os seis municípios, um indicador econômico que pode estar associado ao maior número de instalações. De acordo com os dados da ANEEL (2021), 90% das unidades em funcionamento nessa região foram instaladas entre os anos de 2018 e 2021, o que mostra que a disponibilidade regional da tecnologia fotovoltaica ainda é um recurso relativamente novo para a população.

Na perspectiva do consumidor (entrevistado 02), usuário do sistema fotovoltaico em sua residência e comércio há um ano e oito meses na cidade de Balsas, esse tipo de investimento é satisfatório. O mesmo relatou que o motivo da procura foi devido aos aumentos na fatura de energia, chegando a pagar R\$ 2.000,00 (dois mil reais) por mês juntando as duas unidades, enquanto que atualmente paga um total de R\$ 89,00 (oitenta e nove reais) por mês. Já o entrevistado 03, também da cidade de Balsas, possui um sistema desde 2018 e o utiliza no seu ponto comercial. A sua principal motivação para aquisição do sistema fotovoltaico foi também o fator econômico, obtendo uma redução de 70% nos custos da fatura de energia, segundo ele. Relatou ainda que o retorno do investimento na sua proposta comercial é estimado para quatro anos e seis meses. Destaca-se que, ambos os consumidores entrevistados afirmaram não ter dificuldade com questões relacionadas à limpeza de painéis e manutenção dos sistemas. Geralmente, a limpeza anual requer somente água corrente e, em alguns casos, é necessário panos, escovas ou esponjas macias.

Simulação de sistema fotovoltaico on grid

Para atender ao consumo de 950 kWh/mês foi simulada no ano de 2021 a instalação na cidade de Balsas-MA de um Gerador Solar Fotovoltaico (GSF) de 8,03 kWp constituído por 22 painéis com potência de 365 W e um inversor de 6,00 kW, com geração média de 1000 kWh/mês e valor de R\$ 41.215,00 (quarenta e um mil e duzentos e quinze reais). A simulação de potências geradas e consumidas em kWh em função dos meses é mostrado na Figura 7.

Figura 7. Projeção de geração de eletricidade, em kWh em função dos meses, após instalação de um gerador solar fotovoltaico.



Na Figura 7, as barras em azul claro indicam a produção mensal do gerador solar, em laranja o consumo da residência antes do gerador, em cinza a taxa de disponibilidade para a rede trifásica cobrado pela concessionária de energia local de 100 kWh, e em azul escuro os créditos.

Após a instalação do mesmo o consumidor ainda teria um consumo médio de 100 kWh/mês (indicado na Figura 7 como GSF CONSUMO), referente ao custo de disponibilidade exigido pela concessionária de energia para o padrão trifásico. Conforme os dados, nos períodos do ano em que a irradiação na cidade é maior, especialmente nos meses de agosto a dezembro, o consumidor acumularia créditos que resultariam em descontos na fatura de energia.

Para o consumo de 950,00 kWh/mês, o custo sem o uso do gerador seria de cerca de R\$ 836,00, considerando a tarifa residencial convencional da concessionária de energia de 0,64207 R\$/kWh, os impostos e a taxa de iluminação pública. Mas, após a instalação do gerador o consumidor pagaria

em média R\$ 112,00 mensais, cujo valor inclui o custo da taxa mínima de 100,00 kW e a taxa de iluminação pública de R\$ 47,94 cobrado na cidade de Balsas no período da pesquisa, realizada nos meses de junho a agosto de 2021.

Também foi verificado que o tempo de retorno do investimento realizado é de 43 meses, desconsiderando os reajustes anuais de tarifa e inflação. Sabendo que a garantia de durabilidade das células fotovoltaicas é de 25 anos, sob condições adequadas de manutenção, então, embora o investimento inicial seja alto, o sistema solar fotovoltaico se paga em poucos anos Silva *et al.* (2019a). A partir disso, os gastos com o consumo de energia são drasticamente reduzidos, chegando a ser autossuficiente neste sentido.

Com relação às questões ambientais, de acordo com a calculadora de dióxido de carbono (CO₂) da Fundação SOS Mata Atlântica (2021), a redução da emissão desse gás para o consumo anual de 11.400,00 kWh é estimada em 280,44 kg de CO₂.

Percepção dos moradores dos Gerais de Balsas

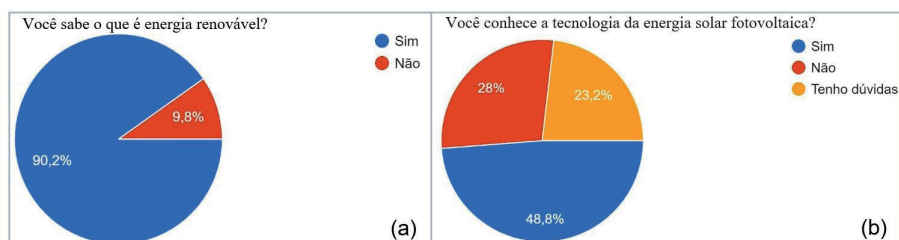
Dos 164 entrevistados por meio de questionário *online* intitulado "Percepção sobre Energia Solar", a maioria são mulheres (57,9%). Com relação à faixa etária, 62,2% tem idade entre 18 e 25 anos, 30,5% entre 26 e 40 anos e 7% entre 40 e 60 anos.

Quanto ao município de residência, 84,8% dos entrevistados residem na cidade de Balsas, 4,9% em Fortaleza dos Nogueiras, 4,3% em Tasso Fragoso, 3% em Riachão, 1,8% em Alto Parnaíba e 1,2% em Nova Colinas. Este elevado percentual registrado para Balsas pode ter sido influenciado pela maior divulgação do questionário neste município.

Com relação à escolaridade, a maioria (44,5%) possui ensino superior incompleto, seguido de 41,5% com ensino superior completo, 11,6% com ensino médio, 1,2% com ensino médio incompleto, 0,6% com ensino fundamental e 0,6% com ensino fundamental incompleto. Considerando que, a maior parte dos entrevistados concluiu ou está cursando o ensino superior, é importante destacar que esses dados são justificados pela ampla divulgação do questionário aos acadêmicos da Universidade Federal do Maranhão do *Campus* de Balsas.

No que diz respeito ao conhecimento sobre energias renováveis, 90,2% afirmaram saber do que se trata, enquanto 9,8% desconhecem (Figura 8(a)). A popularidade do tema se dá principalmente pela importância, constância em debates em diferentes meios sociais e de comunicação, além do fato de que quase metade (47%) da matriz energética do Brasil é baseada em fontes renováveis, das quais 85% da eletricidade gerada é a partir de hidrelétricas [Bondarik, Pilatti e Horst, 2018]. Por outro lado, quando questionados sobre o conhecimento relacionado à energia solar fotovoltaica, 48,8% afirmaram conhecer, mas um percentual significativo não conhece (28%) ou tem dúvidas (23,2%), Figura 8(b). Isto pode ser um reflexo do fato de que, embora o Brasil tenha grande potencial solar, ainda há pouco incentivo à tecnologia [Ferreira *et al.*, 2018], com representação abaixo de 0,1% na matriz energética do país [Pinto *et al.*, 2016].

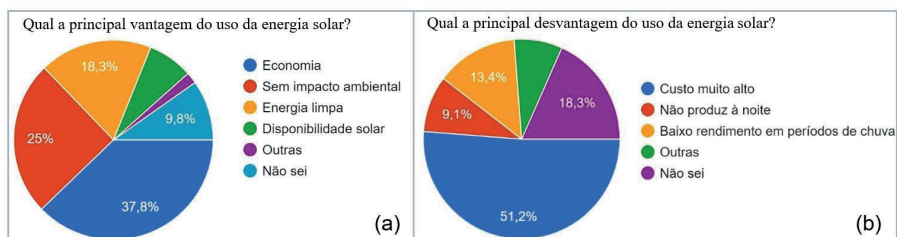
Figura 8. Percepção dos entrevistados quanto a: (a) saber o que é energia renovável; (b) conhecer a tecnologia da energia solar fotovoltaica.



Apenas 7,3% dos entrevistados possuem um sistema fotovoltaico em suas residências e 92,7% afirmaram ter interesse em usá-lo. Dentre os principais motivos que justificam esse interesse estão a “economia” e a “preservação do meio ambiente” conforme a percepção de 68,9% e 28% dos respondentes, respectivamente.

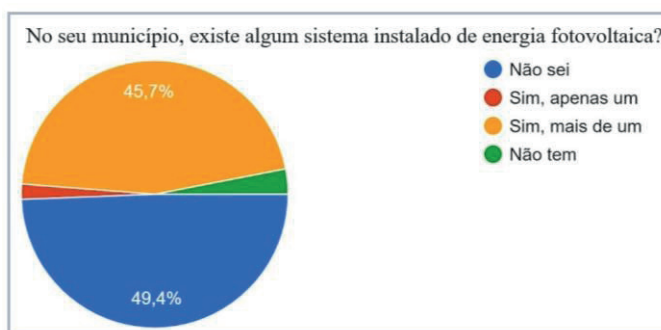
Em termos de vantagens do uso da energia solar (Figura 9(a)), para 37,8% dos entrevistados a principal é a “economia”, enquanto que, dentre as demais opções, 25% e 18,3% consideram a tecnologia “sem impacto ambiental” e de “energia limpa”, respectivamente. Com relação às desvantagens (Figura 9(b)), mais da metade dos entrevistados destacaram o “custo muito alto” de aquisição do sistema (51,2%), seguido do “baixo rendimento em períodos de chuva” (13,4%) e o fato do sistema não produzir eletricidade em períodos noturnos (9,1%).

Figura 9. Uso da energia solar: (a) principal vantagem; (b) principal desvantagem.



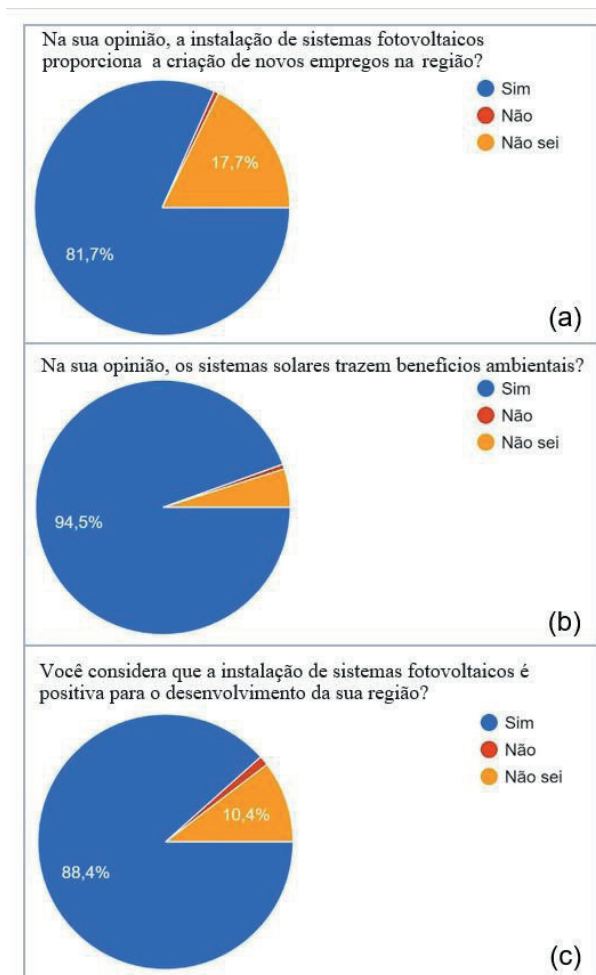
Foi verificado que, dentre os entrevistados, 49,4% não sabem da existência de sistemas fotovoltaicos instalados em seus municípios, mas 45,7% afirmam saber que há mais de um (Figura 10). Como mostrado na Tabela 3, todos os municípios dos Gerais de Balsas possuem ao menos duas unidades geradoras de energia solar conectados na rede, fora os projetos *off grid* que não foram contabilizados. Nesse sentido, percebe-se a falta de difusão de informação, tendo em vista que a maioria dos entrevistados é de Balsas, cujo município já conta com quatro empresas nesse segmento, até o presente momento.

Figura 10. Gráficos referentes à questão: “No seu município, existe algum sistema instalado de energia fotovoltaica?”



A maioria dos entrevistados (54,3%) também afirmou não conhecer pessoas que trabalhem com energia fotovoltaica na região. No entanto, 81,7% acreditam que esse tipo de sistema pode proporcionar a criação de novos empregos na região, conforme Figura 11(a). Além disso, 94,5% também concorda que tais sistemas trazem benefícios ao meio ambiente (Figura 11(b)) e 88,4% dos entrevistados acreditam que a instalação de sistemas fotovoltaicos é positiva para o desenvolvimento regional, Figura 11(c).

Figura 11. A instalação de sistemas fotovoltaicos: (a) “proporciona a criação de novos empregos na região?”; (b) “traz benefícios ambientais?”; (c) “é positiva para o desenvolvimento da sua região?”



Percepção dos profissionais da área da construção civil

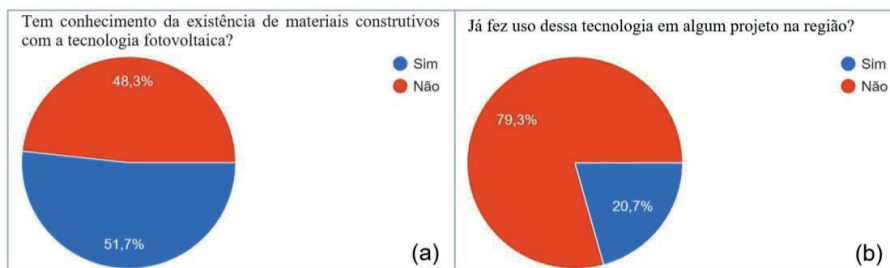
Dos 29 profissionais da construção civil entrevistados por meio do questionário *online* intitulado “Energia Solar na Construção”, 24 (82,8%) são engenheiros civis e 5 (17,2%) são arquitetos. A maioria (93,1%) reside na cidade de Balsas e 6,9% no município de Fortaleza dos Nogueiras.

Com relação ao conhecimento a respeito da energia solar fotovoltaica, um percentual significativo de 86,2% diz conhecer essa tecnologia e as possibilidades de aplicação na construção civil (75,9%). Também, mais da metade dos

profissionais da construção civil entrevistados (62,1%) afirmaram ter contato com pessoas ou empresas na região que disponibilizam materiais e serviços para sistemas fotovoltaicos e a maioria acredita que os clientes estariam dispostos a investir nesses recursos (89,7%).

No entanto, quando questionados sobre os materiais construtivos com essa tecnologia, quase metade (48,3%) diz não saber da existência, conforme é mostrado na Figura 12(a). Esta percepção pode estar relacionada ao fato do mercado BIPV, apesar de apresentar grandes perspectivas de crescimento, ainda ser relativamente novo. Além disso, quando questionados se já fizeram uso dessa tecnologia em algum projeto na região, a maioria (79,3%) diz nunca ter usado, conforme a Figura 12(b). Isto indica que a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica ainda não tem uma dimensão ampla nos projetos dos profissionais da construção nessa região.

Figura 12. Gráficos resultantes das questões: (a) Tem conhecimento da existência de materiais construtivos com a tecnologia fotovoltaica? (b) Já fez uso dessa tecnologia em algum projeto da região?



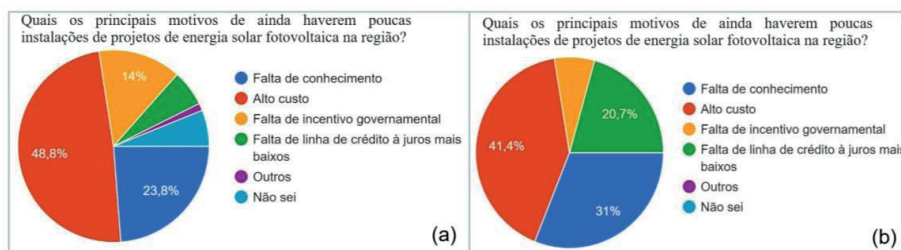
Ressalta-se que todos os profissionais da construção civil entrevistados consideram que a inserção da tecnologia solar fotovoltaica, desde a fase inicial do projeto, pode ter um retorno positivo, pois acreditam na possibilidade de trazer benefícios ambientais, proporcionar a criação de novos empregos e contribuir para o desenvolvimento da região.

Dificuldades de popularização da tecnologia solar fotovoltaica

Em termos de popularização dos sistemas fotovoltaicos, segundo os moradores entrevistados, os principais impeditivos estão relacionados ao alto custo (48,8%), a falta de conhecimento (23,8%) e a falta de incentivo governamental

(14%), conforme é mostrado na Figura 13(a). Os profissionais da construção civil apresentaram percepção semelhante, apontando como principais motivos o alto custo (41,4%) e a falta de conhecimento (31%), além da falta de linhas de crédito à juros mais baixos, conforme é mostrado na Figura 13(b).

Figura 13. Motivos de ainda haverem poucas instalações de projetos de energia solar fotovoltaica na região sob a percepção: (a) dos moradores; (b) dos profissionais da construção civil.



Na percepção do gestor de uma empresa prestadora de serviços especializados em energia solar, entrevistado 01, poderia existir maior incentivo governamental, como há em países como a Alemanha, por exemplo. O mesmo também afirma que os principais impasses para popularização estão relacionados à falta de conhecimento. No entanto, a disseminação de informações dos serviços prestados por esse tipo de empresa parece ainda não alcançar de forma efetiva a população da Região.

Logo, no sentido de corroborar com a população em ter mais acesso ao conhecimento sobre custos e viabilidade da produção de eletricidade a partir da energia solar, é importante que mais estudos na área sejam desenvolvidos e divulgados.

CONCLUSÃO

Os dispositivos solares que se baseiam no uso do silício cristalino são os que têm maior representação no mercado mundial, mas as tecnologias de terceira geração são as que apresentam perspectivas futuras mais promissoras, devido as maiores possibilidades de integração arquitetônica, menores custos e impactos ambientais reduzidos.

Tanto no Brasil quanto na região dos Gerais de Balsas, os painéis solares de silício são os dispositivos mais comercializados, embora o alto custo torna o mercado BIPV ainda pontual, mas com potencial de desenvolvimento.

A região dos Gerais de Balsas possui altos índices de radiação, e com pouca variação ao longo do ano, o que favorece a geração solar fotovoltaica.

A simulação do orçamento indica que embora o investimento financeiro seja alto, o tempo de retorno é relativamente baixo quando comparada a vida útil dos painéis. Assim, esse investimento pode impactar de forma positiva, em médio prazo, na renda das famílias, além de proporcionar a criação de novas oportunidades de emprego, movimentando a economia da região.

Apesar do alto nível de desinformação sobre as tecnologias solar geradoras de eletricidade (já que 51,2% afirma não conhecer ou ter dúvidas e 54,3% não saber da existência de serviços de instalação de sistema fotovoltaico na região), a população tem percepção positiva quanto à sua importância ambiental (94,5%) e para o desenvolvimento regional (88,4%), de modo que 92,7% afirma ter interesse em usá-la.

Dos profissionais da construção civil, 75,9% diz conhecer as possibilidades de aplicação do sistema fotovoltaico na construção civil e embora 79,3% afirma nunca ter usado em seus projetos e 48,3% não saber da existência dos materiais construtivos com essa tecnologia, 89,7% acredita que os clientes estariam dispostos a investir. Desta forma, trazer informações sobre essa temática pode despertar um maior interesse em estudar a aplicação de técnicas e dos materiais construtivos já existentes que possibilitem maximizar a integração dessas tecnologias na construção civil.

Portanto, considerando o consumo de energia e o impacto do setor da construção nos níveis de emissões de poluentes, as tecnologias fotovoltaicas e as possibilidades de aplicação em edificações se mostram como uma alternativa para construções mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- Błaszczczyk, A., Joachimiak-Lechman, K., Sady, S., Tanski, T., Szindler, M. e Drygala, A. (2021) "Environmental performance of dye-sensitized solar cells based on natural dyes". Solar energy, p. 346-355.
- Bondarik, R., Pilatti, L. A. e Horst, D. J. (2018) "Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil". Interciencia, v. 43, n. 10, p. 680-688.
- Bortoloto, V., Gois, G., Martins, M. A., Berghe, M. J. e Montanha, G. K. (2017) "Geração de energia solar on grid e off grid". In: 6ª jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, <http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/view/1069>, Junho.
- CBIC – Câmara Brasileira de Indústria da Construção. (2017) "Energia nas construções: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia", https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Energia_na_Construcao_2017-1.pdf, Junho.
- Chivelet, N. M. e Solla, I. F. (2010) "Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura", Bookman, Porto Alegre.
- Didoné, E. L., Wagner, A. e Pereira, F. O. R. (2014) "Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV". Ambient. Constr., v. 14, n.3.
- Eisenhardt, K. (1989) "Building theories from case study research". Academy of Management Review, v. 14 n. 4.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. (2018) "Balanço Energético Nacional", <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>, Junho.
- Ferreira, A., Kuhn, S. S., Fagnani, K. C., De Souza, T. A., Tonezer, C., Dos Santos, G. R. e Carlos H. Coimbra-Araújo, C. H. (2018) "Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil". Renew. Sustain. Energy Rev., v. 81, p. 181-191.
- Fraunhofer ISE. (2019) "Photovoltaics report, Fraunhofer ISE and PSE", <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/photovoltaics-report.html>, Janeiro.
- Fundação SOS Mata Atlântica. (2021) "Calculadora de CO2", <https://www.sosma.org.br/calculadora-sua-emissao-de-co2/>, Agosto.
- Hug, H., Bader, M., Mair, P. e Glatzel, T. (2014) "Biophotovoltaics: Natural Pigments in Dye-Sensitized Solar Cells". Appl. Energy, v. 15, p. 216-225.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) "Informações dos Municípios", <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma>, Julho.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020) "Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2019", https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2019_v29_informativo.pdf, Junho.
- IEA - International Energy Agency. (2020a) "Key World Energy Statistics", <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>, Junho.
- IEA - International Energy Agency. (2020b) "World Energy Statistics and Balances", https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf, Junho.

IRENA - International Renewable Energy Agency. (2020) "Renewable Capacity Highlights", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf, Junho.

Maranhão. Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento. (2008) "Regiões de Planejamento do Estado do Maranhão". SEPLAN, São Luís.

Marques, F. C. (2014) "Células solares sendo organizadas para iniciar a etapa de montagem do módulo fotovoltaico", <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>, Agosto.

Moreira Júnior, O. e Souza, C. C. (2020). "Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha". Interações, v.21, n.2.

Oliveira, M. M. (2007) "Como fazer Pesquisa Qualitativa". Vozes, Petrópolis.

Peng, C., Huang, Y. e Wu, Z. (2011) "Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China". Energy and Buildings, p. 3592-3598. Elsevier.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. L., Rüther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V. e Souza, J. G. (2017) "Atlas brasileiro de energia solar". 2. ed., INPE, São José dos Campos.

Pinho, J. T. e Galdino, M. A. (2014) "Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos", http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf, Junho.

Pinto, J. T. M., Amaral, K. J. e Janissek, P. R. (2016) "Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing". Solar Energy, v. 133, p.73-84.

Raphael, E., Silva, M. N., Szostak, R., Schiavon, M. A. e Nogueira, A. F. (2017) "Células solares de perovskitas: uma nova tecnologia emergente". Quím. Nova, v.41, n.1.

Santos, Í. P. (2013) "Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura", <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106916>, Agosto.

Silva, L. S., Assunção, R. F., Sobrinho, D. C. R., Freitas, E. S. e Assunção, W.R. (2019a) "Avaliação de custo benefício da utilização de energia fotovoltaica". Revista de Ciência e Tecnologia, v.5, n.9.

Silva, A., Perico, D., Carneiro, L. H. C. e Brosato, C. (2019b) "Energia fotovoltaica no Brasil: uma revisão de literatura". Pesquisa e Inovação, v. 1, n. 1, p. 100-115.

Sunew. (2021) "OPV: Terceira geração de células solares. Belo Horizonte", <https://materiais.sunew.com.br/webinar>, Agosto.

Torres, D. G. B., Luca, B. H., Malacarne, J. A., Souza, J., Casarolli, D., Silva, E. D. C. e Guerra, T. (2019) "Células fotovoltaicas: desenvolvimento e as três gerações". Revista Técnico-Científica do CREA-PR, p. 1-6.

Tractz, G. T., Dias, B. V., Banczek, E. P., da Cunha, M. T., Alves, G. J. T. e Rodrigues, P. R. P. (2020) "Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSC): perspectivas, materiais, funcionamento e técnicas de caracterização". Rev. Virtual Quím., v.12, n.3, p.748-774.

Vasconcelos, Y. (2013) "O desafio do Sol", 072-075_CelulasOrganicas_207.pdf, Junho.

“GUIA TÉCNICO DE SOLUÇÕES TAMPÃO: FUNDAMENTOS E PROTOCOLOS”

Bruno Henrique de Oliveira
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Valéria Marta Gomes do Nascimento
Universidade Estadual Paulista (UNESP)

RESUMO

Soluções tampão são essenciais para a manutenção do pH em reações bioquímicas, microbiológicas e fisiológicas, garantindo estabilidade, reprodutibilidade e controle experimental. A seleção adequada do tampão depende de fatores como proximidade do pKa ao pH desejado, estabilidade térmica, baixa interferência analítica, compatibilidade com sistemas biológicos e comportamento frente a íons metálicos. Esses critérios influenciam diretamente a eficácia do tamponamento e a integridade dos resultados obtidos. São apresentados fundamentos químicos que orientam a escolha de tampões e dados quantitativos sobre o preparo de soluções padrão em diferentes faixas de pH. Para cada sistema tampão, são especificadas as proporções ideais de reagentes, os intervalos de atuação eficaz, as condições de preparo e armazenamento, bem como precauções associadas ao uso experimental. A sistematização das formulações permite a aplicação direta em protocolos laboratoriais, contribuindo para a padronização de procedimentos e a redução de variações metodológicas. A utilização criteriosa dessas soluções auxilia na confiabilidade dos ensaios e na interpretação acurada dos fenômenos bioquímicos investigados.

Palavras-chave: soluções tampão; buffers; pH; bioquímica analítica.

INTRODUÇÃO

A regulação precisa do pH é um dos pilares fundamentais da experimentação bioquímica, microbiológica e farmacêutica. Diversos processos biológicos, como a atividade enzimática, estabilidade de proteínas, transporte transmembranar e reações redox, são extremamente sensíveis a alterações no potencial hidrogeniônico. Soluções tampão, ou tampões, são sistemas aquoso-ácido-base que resistem a variações de pH mesmo após a adição de ácidos ou bases fortes em pequenas quantidades. Essa propriedade, chamada de capacidade tampão, é dependente tanto da natureza química dos componentes quanto de fatores experimentais, como concentração, força iônica, temperatura e presença de íons metálicos. A escolha adequada de um tampão é, portanto, uma decisão técnica crítica em qualquer metodologia laboratorial rigorosa (Good *et al.*, 1966; Ferguson *et al.*, 1980).

Os tampões atuam na zona próxima ao pKa de seus componentes, onde a concentração da espécie protonada e da base conjugada se equilibram. A teoria que rege esse comportamento baseia-se na equação de Henderson-Hasselbalch, derivada da constante de dissociação ácida. A precisão do pH mantido por um tampão é tão essencial que muitos protocolos de biologia molecular e bioquímica exigem variações inferiores a 0,1 unidades de pH, especialmente em experimentos com enzimas cuja atividade apresenta perfis de pH estreitos (Berges *et al.*, 2001; Ellis & Morrison, 1982). Além disso, tampões podem interagir com componentes da amostra, como cofatores metálicos, agentes redutores e proteínas, o que exige atenção à compatibilidade entre o sistema tampão e o objetivo experimental.

A evolução no design de tampões químicos também buscou minimizar essas interferências. Por exemplo, tampões do tipo “Good’s buffers” foram desenvolvidos para apresentar baixa toxicidade, alta solubilidade em água, estabilidade térmica e mínima absorção na faixa UV-visível, atributos desejáveis para uso em bioquímica analítica (Good *et al.*, 1966). Compostos como HEPES, MOPS, MES e PIPES tornaram-se amplamente adotados em protocolos com células vivas, espectrofotometria, cromatografia líquida e eletroforese (Zhou & Zeng, 2021). Entretanto, tampões clássicos como fosfato, acetato e Tris-HCl

ainda são utilizados em larga escala por sua versatilidade, custo acessível e histórico de validação em protocolos consolidados.

Outro fator crítico é o impacto da temperatura e da força iônica sobre o pH das soluções tampão. Variações térmicas podem alterar significativamente o equilíbrio ácido-base, deslocando o pKa e, conseqüentemente, o pH real da solução. Esse fenômeno é particularmente relevante em experimentos realizados fora da temperatura ambiente, como reações enzimáticas a 37 °C ou eletroforeses em condições refrigeradas (Bates, 1973; Stoll & Blanchard, 1990). Do mesmo modo, a adição de sais neutros pode modificar a força iônica da solução e influenciar a atividade dos íons H^+ , alterando o pH observado.

Neste guia técnico, buscamos sistematizar os principais fundamentos teóricos e práticos para o uso racional de tampões em laboratório, com ênfase na seleção, preparação e aplicação de sistemas tampão em diferentes faixas de pH. Com base em obras consagradas como *Data for Biochemical Research* (Dawson *et al.*, 1969) e em artigos científicos recentes, apresentaremos protocolos otimizados, tabelas comparativas, dados de pKa e considerações sobre estabilidade térmica e compatibilidade analítica. O objetivo é fornecer uma referência clara, segura e atualizada, que possa ser aplicada por pesquisadores, técnicos e estudantes em diferentes contextos laboratoriais das ciências da vida.

FUNDAMENTOS E PROPRIEDADES DAS SOLUÇÕES TAMPÃO

As soluções tampão são sistemas formados por um ácido fraco e sua base conjugada (ou vice-versa) capazes de resistir a variações significativas de pH quando pequenas quantidades de ácidos ou bases fortes são adicionadas. Essa resistência ocorre graças ao equilíbrio entre a forma protonada e a forma desprotonada do composto tampão, que atua neutralizando os íons H^+ ou OH^- introduzidos no meio. A compreensão detalhada das propriedades físico-químicas envolvidas nesse comportamento é essencial para o uso eficaz de tampões em contextos laboratoriais.

Capacidade Tampão (Buffer Capacity)

A capacidade tampão (β) é uma medida quantitativa da resistência que uma solução tampão oferece à variação de pH, e é definida como:

$$\beta = \frac{dB}{d(\text{pH})}$$

onde dB é a quantidade de base (ou ácido) forte adicionada à solução, expressa em mol/L, e $d(\text{pH})$ é a variação correspondente no pH. A capacidade tampão depende da concentração total dos componentes do sistema tampão e atinge seu máximo quando $[\text{HA}] = [\text{A}^-]$, ou seja, quando o pH é igual ao pK_a do composto tampão (Good *et al.*, 1966; Dawson *et al.*, 1969).

A expressão analítica da capacidade tampão para um sistema ácido fraco-base conjugada é dada por:

$$\beta_{\text{max}} = \frac{2.303 \cdot K_a \cdot C}{4}$$

em que C é a concentração total do par ácido-base e K_a é a constante de dissociação ácida. Tampões são mais eficazes dentro de um intervalo de ± 1 unidade de pH ao redor de seu pK_a . Fora dessa faixa, a capacidade tampão diminui significativamente, tornando o sistema inadequado para manter o pH estável.

Efeito da Diluição

A diluição de uma solução tampão pode levar a variações significativas de pH, mesmo sem alteração na razão ácido/base. Isso ocorre porque a força iônica do meio afeta a atividade dos íons H^+ . A magnitude dessa alteração é expressa como $\Delta\text{pH}(\text{dil})$ e pode ser prevista a partir da seguinte relação aproximada:

$$\Delta\text{pH}_{\text{dil}} = (\text{pH}_{i,1} - \text{pH}_{i,2})$$

Os estudos de Bates (1964) demonstram que a diluição de soluções tampão pode provocar variações de pH de até 0,03 unidades, especialmente quando a concentração total dos componentes tampão (ácido e base conjugada) é inferior a 0,01 mol/L. Isso significa que, mesmo mantendo a proporção ácido/base constante, o simples ato de diluir a solução com água pode alterar significativamente o pH final. Esse efeito é particularmente crítico em experimentos com células, enzimas ou processos bioquímicos que exigem controle rigoroso do pH, pois pequenas oscilações podem comprometer a atividade biológica ou gerar resultados irreprodutíveis.

Efeito da Temperatura

O pH de uma solução tampão é altamente dependente da temperatura, pois tanto a constante de dissociação K_a quanto a solubilidade dos componentes tampão são funções térmicas. A variação do pH com a temperatura ($\Delta\text{pH}/^\circ\text{C}$) pode ser positiva ou negativa, a depender da entalpia da dissociação do ácido envolvido. Por exemplo, o tampão borato apresenta variação de aproximadamente $-0,0028 \text{ pH}/^\circ\text{C}$, enquanto tampões como o fosfato (na razão 1:1 de $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{K}_2\text{HPO}_4$) exibem alterações mínimas (Dawson *et al.*, 1969; Stoll & Blanchard, 1990).

Na prática, é recomendável ajustar o pH do tampão à temperatura de uso, principalmente em experimentos com precisão analítica, reações enzimáticas ou processos celulares, nos quais pequenas variações podem comprometer a interpretação dos resultados.

Efeito de Sais Neutros (Self-Effects)

A adição de sais neutros como NaCl ou NH_4Cl a uma solução tampão pode alterar o pH final devido ao aumento da força iônica, modificando o coeficiente de atividade dos íons H^+ . Esse fenômeno, conhecido como efeito salino, é dependente da natureza do tampão e da concentração do sal. Estudos demonstram que, em tampões fracos, a adição de 0,05 M de sal pode causar alterações de até $\pm 0,05$ unidades de pH (Bates, 1964; Ellis & Morrison, 1982). Esse

efeito deve ser levado em conta ao preparar tampões para uso em eletroforese, cromatografia ou experimentos com controle rigoroso de pH.

Interação com Íons Metálicos

Alguns tampões têm a capacidade de formar complexos com íons metálicos, o que pode interferir em reações bioquímicas dependentes desses cofatores. Compostos como EDTA, fosfatos, histidina e citrato são conhecidos por sua habilidade de quelar metais divalentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} ou Zn^{2+} . Essa propriedade pode ser vantajosa, como no caso de tampões que inibem nucleases em extrações de DNA, mas também pode ser indesejada quando se busca estudar sistemas enzimáticos ativados por metais (González *et al.*, 2013).

CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE SOLUÇÕES TAMPÃO

A seleção de um sistema tampão apropriado não deve se restringir apenas à faixa de pH desejada. Diversos fatores físico-químicos, biológicos e operacionais devem ser considerados para garantir que o tampão mantenha o pH com estabilidade e não interfira adversamente no experimento. Um tampão ideal deve apresentar não apenas capacidade tampão eficaz na faixa de interesse, mas também compatibilidade com os componentes da reação, estabilidade térmica, baixa toxicidade e ausência de reatividade com íons metálicos, proteínas ou reagentes analíticos (Good *et al.*, 1966; Ferguson *et al.*, 1980).

Faixa de pKa e Faixa Operacional de pH

O primeiro e mais fundamental critério é a correspondência entre o pKa do tampão e o pH desejado para o sistema experimental. A eficácia de um tampão é máxima quando o pH é igual ao seu pKa, pois é nesse ponto que as concentrações do ácido fraco e da base conjugada são iguais. A faixa prática de ação eficaz situa-se entre $\text{pKa} \pm 1,0$. Por exemplo, o tampão fosfato ($\text{pKa}_2 \approx 7,2$) é ideal para manter pH entre 6,2 e 8,2, sendo amplamente utilizado em ensaios enzimáticos e tampões fisiológicos (Ellis & Morrison, 1982).

Interferência com Reações e Componentes da Amostra

Muitos tampões, especialmente os clássicos como fosfato, citrato e Tris, são capazes de interagir com biomoléculas, reagentes ou cofatores. O tampão fosfato, por exemplo, pode formar complexos com íons metálicos como Ca^{2+} e Mg^{2+} , interferindo em experimentos que dependem desses cofatores, como a atividade de ATPases. Tampões contendo grupos amina (como Tris, HEPES ou imidazol) podem interferir em reações com grupos carbonílicos ou metais de transição. Portanto, é essencial conhecer a composição da amostra e as reações envolvidas antes de selecionar um tampão (Zhou & Zeng, 2021; González *et al.*, 2013).

Estabilidade Térmica e Variação do pH com a Temperatura

A variação do pH com a temperatura ($\Delta\text{pH}/\Delta T$) deve ser considerada em experimentos que operam fora da temperatura ambiente. Alguns tampões, como HEPES e MOPS, apresentam excelente estabilidade térmica, com variações de pH inferiores a 0,01 por grau Celsius. Já tampões como o borato ou o Tris exibem variações significativas (em torno de $-0,03 \text{ pH}/^\circ\text{C}$), podendo comprometer experimentos realizados a 37°C ou em ambientes refrigerados (Stoll & Blanchard, 1990). A escolha do tampão deve, portanto, considerar a temperatura de operação do sistema experimental.

Absorbância na Faixa UV e Interferência Analítica

Muitos ensaios bioquímicos e microbiológicos utilizam detecção espectrofotométrica na faixa UV (200–350 nm). Tampões que absorvem fortemente nessa faixa — como Tris, HEPES e PIPES — devem ser evitados em análises por espectrofotometria UV, a menos que haja controle de branco rigoroso. Tampões como fosfato e acetato, por outro lado, apresentam absorbância desprezível nessa região, sendo preferidos para análises espectrais (Berges *et al.*, 2001).

Toxicidade Celular e Biocompatibilidade

Para experimentos com células vivas — como culturas bacterianas, células eucarióticas ou organelas isoladas — a toxicidade do tampão é uma consideração

essencial. Compostos como HEPES, MES, MOPS e PIPES foram projetados especificamente para aplicações biológicas, apresentando baixa toxicidade e alta biocompatibilidade. Em contraste, tampões contendo borato ou veronal podem ser citotóxicos e devem ser evitados em ensaios celulares. A solubilidade em água, a capacidade tampão dentro da faixa fisiológica e a inércia química frente a enzimas tornam os Good's buffers os mais indicados para aplicações biológicas delicadas (Good *et al.*, 1966; Ferguson *et al.*, 1980).

TABELA DE PKA E ESCOLHA RACIONAL DE SOLUÇÕES TAMPÃO

A escolha do sistema tampão adequado exige a consideração de diversos fatores, sendo o valor do pKa do componente ácido um dos parâmetros fundamentais. O pKa representa o ponto de equilíbrio entre a forma protonada e desprotonada da substância e determina a faixa de pH na qual o tampão é mais eficaz. Para facilitar a seleção de tampões compatíveis com diferentes faixas de pH, esta seção apresenta uma tabela com os principais compostos utilizados em soluções tampão, com seus respectivos valores de pKa a 25 °C, faixa operacional recomendada e observações quanto à estabilidade térmica e aplicabilidade biológica.

Tabela 1 – Compostos Tampão com pKa e Características de Uso (25 °C).

Composto (abreviação)	pKa (25 °C)	Faixa útil (pH)	ΔpH/°C	Abs. UV	Comentários principais
Ácido acético	4,76	3,8 – 5,8	~0	Baixa	Econômico, adequado para ensaios simples
Ácido ftálico (KH-ftalato)	5,41	4,5 – 6,5	~0	Moderada	Usado como padrão secundário
Fosfato (H ₂ PO ₄ ⁻ /HPO ₄ ²⁻)	7,20	6,2 – 8,2	-0,002	Nula	Ampla uso, pode complexar metais
Tris (tris-HCl)	8,06	7,0 – 9,0	-0,028	Moderada	Boa capacidade tampão, alta sensibilidade térmica
HEPES	7,55	6,8 – 8,2	-0,014	Alta	Alta biocompatibilidade, usado em cultura celular
MES	6,15	5,5 – 6,7	-0,011	Alta	Excelente para sistemas biológicos e enzimáticos
MOPS	7,20	6,5 – 7,9	-0,015	Alta	Alternativa ao fosfato em estudos com metais
PIPES	6,80	6,1 – 7,5	-0,008	Alta	Ideal para sistemas tampão em células

Composto (abreviação)	pKa (25 °C)	Faixa útil (pH)	$\Delta\text{pH}/^{\circ}\text{C}$	Abs. UV	Comentários principais
Borato ($\text{B}(\text{OH})_3/\text{BOH}^-$)	9,24	8,2 – 10,2	–0,027	Baixa	Forte dependência térmica, pode ser tóxico a células
Imidazol	6,95	6,2 – 7,8	–0,019	Alta	Ligação com metais, comumente utilizado em purificação proteica

PROTOCOLOS DE PREPARO DE SOLUÇÕES TAMPÃO

A preparação correta de soluções tampão é essencial para garantir estabilidade do pH, reprodutibilidade experimental e compatibilidade com os objetivos do estudo. Esta seção apresenta protocolos padronizados para tampões clássicos e modernos, organizados por faixa de pH e baseados em concentrações típicas de uso laboratorial (geralmente 0,05 a 0,2 M). As instruções incluem as quantidades necessárias, o método de preparo, a faixa de pH obtida e observações sobre estabilidade e aplicações recomendadas.

São apresentados, nesta seção, dados referentes a soluções tampão diversas que possuem ampla aplicação em bioquímica. Suas concentrações e força iônica podem ser facilmente ajustadas para torná-las mais adequadas a propósitos específicos. Em geral, os valores de pH dessas soluções não foram determinados com alta precisão, sendo fornecidos apenas com uma casa decimal. Em outros casos, indicados com um asterisco, os valores de pH foram determinados com precisão e são apresentados com duas casas decimais.

Tampão Glicina-HCl (pH 2,2 – 3,6 a 25 °C)

Referência: Sørensen, B.Z. *Biochemische Zeitschrift*, 21, 131 (1909); Gomori, G. *Methods in Enzymology*, 1, 141 (1955).

Composição base:

- Glicina** ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$), massa molar: 75,07 g/mol
- 250 mL** de solução 0,2 M de glicina (15,01 g/L)
- Instruções de preparo:**
- x mL** de solução 0,2 M de HCl (ver tabela abaixo)
- Completar o volume para **1 litro** com água destilada

Tabela 2 - Tampão Glicina-HCl (pH 2,2 – 3,6, 25 °C).

pH (25 °C)	Glicina 0,2 M (mL)	HCl 0,2 M (mL)
2,2	250,0	220,0
2,4	250,0	162,0
2,6	250,0	121,0
2,8	250,0	84,0
3,0	250,0	57,0
3,2	250,0	40,0
3,4	250,0	32,0
3,6	250,0	25,0

**Tampão Ácido Cítrico - Na_2HPO_4 (pH 2,6 – 7,6 a 25 °C)
(Tampão de McIlvaine)**

Referência: McIlvaine, T. C. *J. Biol. Chem.*, 49, 183 (1921).

Composição base:

- **Ácido cítrico monoidratado** ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$), massa molar: 210,14 g/mol

Solução 0,1 M: 21,01 g/L

- **Fosfato de sódio bibásico** ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), massa molar: 178,05 g/mol

Solução 0,2 M: 35,61 g/L

Instruções de preparo:

Misturar x mL da solução 0,1 M de ácido cítrico com y mL da solução 0,2 M de Na_2HPO_4 (ver tabela abaixo)

Tabela 3 - Tampão Citrato-Fosfato (pH 2,6 – 7,6, 25 °C) – (Tampão de McIlvaine).

pH (25 °C)	Ácido cítrico 0,1 M (mL)	Na_2HPO_4 0,2 M (mL)
2,6	891,0	109,0
3,0	794,5	205,5
3,4	715,0	285,0
3,6	678,0	322,0
4,0	614,5	385,5
4,4	558,0	442,0
4,6	530,0	470,0
5,0	481,0	519,0

pH (25 °C)	Ácido cítrico 0,1 M (mL)	Na ₂ HPO ₄ 0,2 M (mL)
5,4	446,0	554,0
5,6	426,0	574,0
6,0	368,5	631,5
6,4	307,5	692,5
6,6	275,5	724,5
7,0	176,5	823,5
7,4	91,5	908,5
7,6	63,5	936,5

- Recomenda-se verificar o pH com pHmetro calibrado, especialmente se a solução for utilizada em condições fora de 25 °C.
- Pode ser armazenado sob refrigeração por até 30 dias.
- Evite contaminações por CO₂ atmosférico, que podem acidificar a solução ao longo do tempo.

Tampão Ácido Cítrico – Citrato de Sódio (pH 3,0 – 6,2 a 25 °C)

Referência: N. Hemington e R. M. C. Dawson (dados não publicados, in *Data for Biochemical Research*, 1986)

Composição base:

- **Ácido cítrico monoidratado** (C₆H₈O₇·H₂O), massa molar: 210,14 g/mol

Solução 0,1 M: 21,01 g/L

- **Citrato de sódio tribásico diidratado** (C₆H₅O₇Na₃·2H₂O), massa molar: 294,12 g/mol

Solução 0,1 M: 29,41 g/L

Instruções de preparo:

Misturar x mL de ácido cítrico 0,1 M com y mL de citrato de sódio 0,1 M conforme a tabela. Recomenda-se ajustar o pH com pequenas alíquotas de NaOH ou HCl 0,1 M se necessário.

Tabela 4 - Tampão Ácido Cítrico – Citrato de Sódio (pH 3,0 – 6,2, 25 °C).

pH (25 °C)	Ácido cítrico 0,1 M (mL)	Citrato de sódio 0,1 M (mL)
3,0	820,0	180,0
3,2	775,0	225,0
3,4	730,0	270,0
3,6	685,0	315,0
3,8	635,0	365,0
4,0	580,0	420,0
4,2	540,0	460,0
4,4	495,0	505,0
4,6	450,0	550,0
4,8	405,0	595,0
5,0	360,0	640,0
5,2	305,0	695,0
5,4	250,0	750,0
5,6	205,0	795,0
5,8	160,0	840,0
6,0	115,0	885,0
6,2	80,0	920,0

- Tampão com baixa interferência óptica na região UV-visível.

Tampão Acetato de Sódio – Ácido Acético (pH 3,7 – 5,6 a 18 °C)

Referência: Adaptado de Dawson *et al.* (1986), com base em dados de titulação ácido-base clássica.

Composição base:

- **Acetato de sódio trihidratado** ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), massa molar: 136,09 g/mol

Solução 0,2 M: 27,22 g/L

- **Ácido acético glacial** (CH_3COOH), densidade: ~1,05 g/mL

Solução 0,2 M: preparada por diluição controlada de ácido acético concentrado

Instruções de preparo:

Misturar os volumes indicados de acetato de sódio 0,2 M e ácido acético 0,2 M. Recomenda-se ajustar o pH com HCl ou NaOH 0,1 M, se necessário. Medidas de pH referem-se à temperatura de 18 °C.

Tabela 5 - Tampão Acetato de Sódio – Ácido Acético (pH 3,7 – 5,6, 18 °C).

pH (18 °C)	Acetato de sódio 0,2 M (mL)	Ácido acético 0,2 M (mL)
3,7	100,0	900,0
3,8	120,0	880,0
4,0	180,0	820,0
4,2	265,0	735,0
4,4	370,0	630,0
4,6	490,0	510,0
4,8	590,0	410,0
5,0	700,0	300,0
5,2	790,0	210,0
5,4	860,0	140,0
5,6	910,0	90,0

- A temperatura influencia significativamente o pKa do ácido acético, por isso recomenda-se calibrar o pHmetro na mesma temperatura de uso.

Tampão Ácido Succínico – NaOH (pH 3,8 – 6,0 a 25 °C)

Referência: Gomori, G. *Methods in Enzymology*, **1**, 141 (1955)

Composição base:

- **Ácido succínico** ($C_4H_6O_4$), massa molar: 118,09 g/mol

Solução 0,2 M: 23,62 g/L

- **Hidróxido de sódio (NaOH)** 0,2 M

Instruções de preparo:

Misturar 250 mL de solução 0,2 M de ácido succínico com x mL de NaOH 0,2 M conforme a tabela, e completar o volume para 1 litro com água destilada. Verificar e, se necessário, ajustar o pH com NaOH ou HCl diluído. Usar a solução no mesmo dia, ou conservar em refrigeração por até 7 dias.

Tabela 6 - Tampão Ácido Succínico – NaOH (pH 3,8 – 6,0 a 25 °C).

pH (25 °C)	Ácido succínico 0,2 M (mL)	NaOH 0,2 M (mL)
3,8	250,0	75,0
4,0	250,0	100,0
4,2	250,0	133,0
4,4	250,0	167,0
4,6	250,0	200,0
4,8	250,0	235,0
5,0	250,0	267,0
5,2	250,0	303,0
5,4	250,0	342,0
5,6	250,0	375,0
5,8	250,0	407,0
6,0	250,0	435,0

- O tampão succinato possui duas zonas de tamponamento relacionadas a seus dois pKa (aprox. 4,2 e 5,6).
- Possui absorção UV mínima e é compatível com uso em espectrofotometria e cinética enzimática.

Tampão Fosfato de Sódio (pH 5,8 – 8,0 a 25 °C)

Referência: Gomori, G. *Methods in Enzymology*, **1**, 143 (1955); adaptação da fórmula de Sørensen.

Composição base:

- **Fosfato dissódico di-hidratado** ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), massa molar: 178,05 g/mol

Solução 0,2 M: 35,61 g/L

- **Fosfato monossódico di-hidratado** ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), massa molar: 156,03 g/mol

Solução 0,2 M: 31,21 g/L

Instruções de preparo:

Misturar x mL de Na_2HPO_4 0,2 M com y mL de NaH_2PO_4 0,2 M conforme a tabela abaixo. O tampão pode ser armazenado por até 30 dias sob refrigeração, e seu pH é estável em temperatura ambiente.

Tabela 7 - Tampão Fosfato de Sódio (pH 5,8 – 8,0, 25 °C).

pH (25 °C)	Na_2HPO_4 0,2 M (mL)	NaH_2PO_4 0,2 M (mL)
5,8	80,0	920,0
6,0	123,0	877,0
6,2	185,0	815,0
6,4	265,0	735,0
6,6	375,0	625,0
6,8	490,0	510,0
7,0	610,0	390,0
7,2	720,0	280,0
7,4	810,0	190,0
7,6	870,0	130,0
7,8	915,0	85,0
8,0	947,0	53,0

- O tampão fosfato é um dos mais utilizados em experimentos biológicos devido à sua alta capacidade tamponante próxima ao $\text{pK}_a \approx 7,2$.
- Pode formar complexos com íons metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+}), o que deve ser considerado em experimentos com enzimas metalodependentes.
- Estável à temperatura ambiente, com baixa absorção UV.

Tampão Imidazol - HCl (pH 6,2 – 7,8 a 25 °C)

Referência: Mertz and Owen, *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine (P.S.E.B.M.)*, 43, 204 (1940)

Composição base:

- **Imidazol** ($\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_2$), massa molar: 68,08 g/mol

Solução 0,2 M: 13,62 g/L

- **Ácido clorídrico (HCl)** 0,2 M

Instruções de preparo:

Misturar 250 mL de imidazol 0,2 M com x mL de HCl 0,2 M (ver tabela) e completar com água destilada até 1 litro. Medir o pH final e ajustar, se necessário. Solução recomendada para uso imediato ou conservação sob refrigeração por até 7 dias.

Tabela 8 - Tampão Imidazol – HCl (pH 6,2 – 7,8, 25 °C)

pH (25 °C)	Imidazol 0,2 M (mL)	HCl 0,2 M (mL)
6,2	250,0	214,5
6,4	250,0	199,0
6,6	250,0	177,5
6,8	250,0	152,0
7,0	250,0	121,5
7,2	250,0	93,0
7,4	250,0	68,0
7,6	250,0	46,5
7,8	250,0	30,0

- O imidazol apresenta boa capacidade tamponante na faixa fisiológica e é frequentemente utilizado na purificação de proteínas por cromatografia de afinidade.
- Apresenta absorção UV moderada, devendo ser evitado em medições espectrofotométricas abaixo de 230 nm.

Tampão Tris – HCl (pH 7,1 – 8,9 a 25 °C)

Referência: Bates, R. G. & Bower, V. E. *Analytical Chemistry*, **28**, 1322 (1956)

Composição base:

- **Tris(hidroximetil)aminometano** (Tris, $C_4H_{11}NO_3$), massa molar: 121,14 g/mol

Solução 0,1 M: 12,14 g/L

- **Ácido clorídrico (HCl)** 0,1 M

Instruções de preparo:

Misturar 500 mL de Tris 0,1 M com x mL de HCl 0,1 M (ver tabela), e completar o volume para 1 litro com água destilada. Ajustar o pH com precisão, se necessário. Utilizar imediatamente ou armazenar sob refrigeração por até 5 dias.

Tabela 9 - Tampão Tris – HCl (pH 7,1 – 8,9, 25 °C).

pH (25 °C)	Tris 0,1 M (mL)	HCl 0,1 M (mL)
7,1	500,0	457,0
7,2	500,0	447,0
7,3	500,0	434,0
7,4	500,0	420,0
7,5	500,0	405,0
7,6	500,0	385,0
7,7	500,0	366,0
7,8	500,0	345,0
7,9	500,0	321,0
8,0	500,0	296,0
8,1	500,0	269,0
8,2	500,0	242,0
8,3	500,0	213,0
8,4	500,0	181,0
8,5	500,0	147,0
8,6	500,0	124,0
8,7	500,0	92,0
8,8	500,0	65,0
8,9	500,0	36,0

- Tris apresenta excelente capacidade tampão entre **pH 7 e 9**, sendo amplamente usado em biologia molecular, bioquímica e fisiologia.
- Seu pKa (~8,1 a 25 °C) sofre variações significativas com a temperatura ($\Delta pK_a / ^\circ C \approx -0,028$), o que requer cuidado em experimentos térmicos.
- Tris pode absorver CO₂ atmosférico, formando carbonato e alterando o pH da solução.

Tampão Glicina – NaOH (pH 8,6 – 10,6 a 25 °C)

Referência: Gomori, G., após Sørensen. *Methods in Enzymology*, 1, 145 (1955)

Composição base:

- **Glicina (ácido aminoacético)**, $C_2H_5NO_2$, massa molar: 75,07 g/mol

Solução 0,2 M: 15,01 g/L

- **Hidróxido de sódio (NaOH) 0,2 M**

Instruções de preparo:

Misturar 250 mL de solução 0,2 M de glicina com x mL de NaOH 0,2 M (conforme tabela) e completar com água destilada até 1 litro. Verificar e ajustar o pH com pequenas alíquotas de NaOH 0,1 M, se necessário.

Tabela 10 - Tampão Glicina – NaOH (pH 8,6 – 10,6 a 25 °C).

pH (25 °C)	Glicina 0,2 M (mL)	NaOH 0,2 M (mL)
8,6	250,0	20,0
8,8	250,0	30,0
9,0	250,0	44,0
9,2	250,0	60,0
9,4	250,0	84,0
9,6	250,0	112,0
9,8	250,0	136,0
10,0	250,0	160,0
10,2	250,0	193,0
10,4	250,0	227,5
10,6	250,0	227,5

- A glicina tem dois pKa relevantes (2,3 e 9,6); neste tampão, atua como base conjugada.
- Adequado para ensaios que exigem pH alcalino moderado a alto, como em alguns testes de estabilidade enzimática e eletroforese.
- Cuidado com a absorção de CO_2 do ambiente, que pode afetar o pH em tampões alcalinos.

Tampão Borato – NaOH (pH 9,3 – 10,7 a 25 °C)

Referência: Bates, R. G. & Bower, V. E. *Analytical Chemistry*, 28, 1322 (1956)

Composição base:

- **Tetraborato de sódio decaidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)**, massa molar: 381,37 g/mol

Solução 0,025 M: 9,525 g/L

- **Hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M**

Instruções de preparo:

Misturar 500 mL de borato 0,025 M com x mL de NaOH 0,1 M conforme a tabela e completar com água destilada até 1 litro. O pH pode variar levemente com absorção de CO_2 . Armazenar sob tampa hermética, sob refrigeração por até 7 dias.

Tabela 11 - Tampão Borato – NaOH (pH 9,3 – 10,7, 25 °C).

pH (25 °C)	Borato 0,025 M (mL)	NaOH 0,1 M (mL)
9,3	500,0	36,0
9,4	500,0	62,0
9,5	500,0	88,0
9,6	500,0	111,0
9,7	500,0	131,0
9,8	500,0	150,0
9,9	500,0	170,0
10,0	500,0	183,0
10,1	500,0	195,0
10,2	500,0	205,0
10,3	500,0	212,0
10,4	500,0	221,0
10,5	500,0	227,0
10,6	500,0	233,0
10,7	500,0	238,0

- Pode formar complexos com poli-hidroxilas e dióis (como açúcares e glicerol), sendo útil em aplicações específicas, mas interferente em outras.
- A absorção de CO_2 pode alterar o pH em soluções não herméticas.

Tampão KCl – NaOH (pH 12,0 – 13,0 a 25 °C)

Referência: Bates, R. G. & Bower, V. E. *Analytical Chemistry*, 28, 1322 (1956)

Composição base:

- **Cloreto de potássio (KCl)**, massa molar: 74,55 g/mol

Solução 0,2 M: 14,91 g/L

- **Hidróxido de sódio (NaOH)** 0,2 M

Instruções de preparo:

Misturar 250 mL de KCl 0,2 M com x mL de NaOH 0,2 M conforme a tabela abaixo e completar com água destilada até 1 litro. Recomenda-se o uso imediato devido à instabilidade do pH em soluções fortemente alcalinas expostas ao ar.

Tabela 12 - Tampão KCl – NaOH (pH 12,0 – 13,0, 25 °C).

pH (25 °C)	KCl 0,2 M (mL)	NaOH 0,2 M (mL)
12,0	250,0	60,0
12,1	250,0	80,0
12,2	250,0	102,0
12,3	250,0	128,0
12,4	250,0	162,0
12,5	250,0	200,0
12,6	250,0	254,0
12,7	250,0	322,0
12,8	250,0	406,0
12,9	250,0	532,0
13,0	250,0	660,0

- Este tampão é usado em aplicações que exigem pH extremamente alcalino, como testes de estabilidade e estudos químicos de bases fortes.
- **Alta sensibilidade ao CO₂ atmosférico**, o que pode alterar o pH rapidamente se a solução for exposta ao ar.
- A variação de pH com a temperatura é significativa ($\Delta\text{pH}/^\circ\text{C} \approx -0,033$), sendo recomendada a correção térmica em medições rigorosas.

DISPOSIÇÕES FINAIS

A escolha, preparo e aplicação adequada de soluções tampão são etapas críticas em experimentos bioquímicos, microbiológicos e fisiológicos. Tampões bem formulados garantem a estabilidade do pH durante reações químicas e processos biológicos sensíveis, conferindo reprodutibilidade, confiabilidade e controle às condições experimentais. Este guia reuniu, de forma sistemática, os fundamentos essenciais sobre os critérios de seleção de tampões, suas propriedades físico-químicas e protocolos de preparo padronizados com base em referências clássicas da literatura científica.

Os protocolos de preparo descritos e padronizados para o volume padrão de 1 litro visam facilitar o uso direto em laboratório, evitando erros de escala e promovendo a padronização entre diferentes grupos de pesquisa. Cada tampão apresentado está associado a seu respectivo intervalo de eficácia, equações de preparo baseadas em soluções-mãe e observações sobre armazenamento e estabilidade, ampliando sua aplicabilidade no contexto experimental moderno.

Por fim, espera-se que este guia contribua não apenas como um instrumento de consulta para o preparo rotineiro de soluções tampão, mas também como um recurso formativo.

REFERÊNCIAS

BATES, R. G. **Determination of pH: Theory and Practice**. 2. ed. New York: Wiley-Interscience, 1973.

BATES, R. G.; BOWER, V. E. Buffers for pH and metal ion control. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 8, p. 1322–1327, 1956.

BERGES, J. A.; FRANKLIN, D. J.; HARRISON, P. J. Evolution of an artificial seawater medium: improvements in enriched seawater, artificial water over the last two decades. **Journal of Phycology**, New York, v. 37, n. 6, p. 1138–1145, 2001.

DAWSON, R. M. C. *et al.* **Data for Biochemical Research**. 3. ed. Oxford: Clarendon Press, 1969.

ELLIS, K. J.; MORRISON, J. F. Buffers of constant ionic strength for pH control. **Methods in Enzymology**, New York, v. 87, p. 405–426, 1982.

FERGUSON, W. J. *et al.* Effective buffering ranges of biological buffers. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v. 104, n. 2, p. 300–310, 1980.

- GOMORI, G. Preparation of buffers for use in enzyme studies. **Methods in Enzymology**, New York, v. 1, p. 138–146, 1955.
- GOOD, N. E. *et al.* Hydrogen ion buffers for biological research. **Biochemistry**, Washington, v. 5, n. 2, p. 467–477, 1966.
- GONZÁLEZ, A. *et al.* Metal-binding properties of common buffers. **Biotechnology Letters**, London, v. 35, p. 2129–2136, 2013.
- HEMINGTON, N.; DAWSON, R. M. C. Citric acid/sodium citrate buffer data (unpublished). *In*: DAWSON, R. M. C. *et al.* **Data for Biochemical Research**. 3. ed. Oxford: Clarendon Press, 1986.
- MCILVAINE, T. C. A buffer solution for colorimetric comparison. **Journal of Biological Chemistry**, New York, v. 49, p. 183–186, 1921.
- MERTZ, E. T.; OWEN, E. C. Use of imidazole buffers in enzyme studies. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, New York, v. 43, p. 204–207, 1940.
- SØRENSEN, S. P. L. Enzymstudien II. Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration bei enzymatischen Prozessen. **Biochemische Zeitschrift**, Berlin, v. 21, p. 131–200, 1909.
- STOLL, V. S.; BLANCHARD, J. S. Buffers: principles and practice. **Methods in Enzymology**, New York, v. 182, p. 24–38, 1990.
- ZHOU, L.; ZENG, Y. Selection and optimization of buffer systems for biochemical and biophysical applications. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 98, n. 3, p. 864–871, 2021.

HIDROGÉIS COMO SISTEMAS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE FÁRMACOS EM TERAPIAS DERMATOLÓGICAS: POTENCIAIS AVANÇOS E DESAFIOS

Carla Verônica Rodarte de Moura
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Palloma Assunção Pereira
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Jefferson Magalhães de Oliveira
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

RESUMO

As terapias dermatológicas são procedimentos realizados na pele. Esse método é realizado devido ao aparecimento de feridas, uma vez que essas feridas, muitas vezes, demoram para serem cicatrizadas, bem como devido a doenças de pele, como dermatites, psoríase, alergias, acne, úlceras cutâneas crônicas etc. Com base nisso, a utilização de hidrogéis, carreadores de medicamentos têm sido viável para esse recurso terapêutico, devido ao seu elevado teor de água. Esses materiais são estruturas poliméricas gerando redes tridimensionais que possuem a capacidade de reter grandes volumes de água ou fluidos aquosos. Podem ser formados por polímeros ou proteínas e curiosamente por moléculas menores anfífilas, como surfactantes e lipídios. Os hidrogéis à base de polissacarídeos tem se destacado uma vez que são de baixo custo e apresenta biocompatibilidade inerente, porém a baixa reprodutividade e a instabilidade química fazem com que esses materiais apresentem uma desvantagem em relação a obtenção dos hidrogéis. Porém, a combinação de compostos inorgânicos, como as argilas, ajuda na melhoria da instabilidade química, nas propriedades mecânicas, portanto pode-se ter um material mais eficaz.

Palavras-chave: hidrogel; polissacarídeos; gomas; argilas; carregamento; medicamentos.

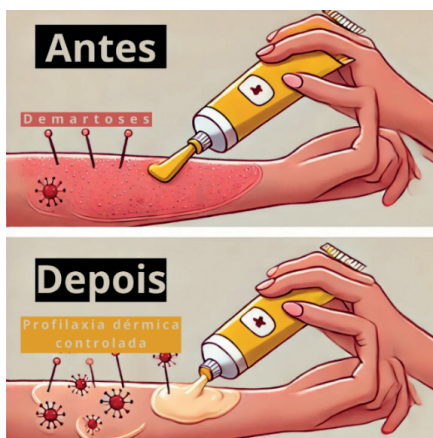
INTRODUÇÃO

A pele é o maior órgão do ser humano e quando este órgão é lesionado, existem mecanismos de autorregeneração através da ação das plaquetas, fibroblastos, neutrófilos e monócitos, tal processo conhecido como cicatrização. Contudo, a crescente incidência de traumas, obesidade, queimaduras e diabetes pode comprometer os mecanismos naturais de autorreparação, retardando o processo de cicatrização e favorecendo o surgimento de lesões crônicas. Além das lesões, as doenças dermatológicas, que incluem condições como psoríase, dermatite atópica, acne e úlceras cutâneas crônicas, têm um impacto significativo na qualidade de vida dos pacientes. Mais do que apenas alterações visíveis na pele, essas condições frequentemente vêm acompanhadas de desconforto físico, como prurido, dor e inflamação, além de efeitos psicológicos. Sentimentos de vergonha, baixa autoestima e ansiedade são comuns entre indivíduos que convivem com essas enfermidades, especialmente em casos mais severos que afetam áreas expostas do corpo, como rosto, mãos ou pernas. Esse impacto psicossocial não apenas compromete o bem-estar emocional, mas também pode influenciar negativamente as interações sociais e a produtividade no trabalho. (Costa *et al.*, 2009; Sghier *et al.*, 2024).

Frente ao cenário alarmante de prevalência global das doenças dermatológicas, as terapias tópicas têm se consolidado como uma abordagem clínica fundamental. Diferentemente de medicamentos sistêmicos, como comprimidos ou injeções, as terapias tópicas oferecem uma aplicação direta na área afetada, potencializando a ação do fármaco e minimizando efeitos adversos em outros sistemas do organismo. No entanto, a eficiência dessas terapias muitas vezes é limitada por fatores como baixa adesão dos pacientes, necessidade de múltiplas aplicações diárias e absorção insuficiente do medicamento devido às barreiras naturais da pele, como a camada córnea. É nesse contexto que os hidrogéis emergem como uma solução inovadora e promissora. Sghier *et al.* (2024).

A figura 1 mostra a utilização de hidrogéis como recurso terapêutico.

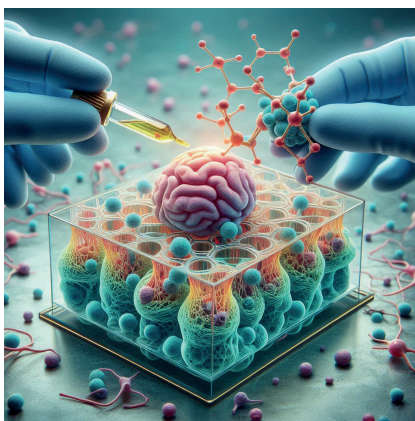
Figura 1: Esquema da utilização de hidrogéis como recurso terapêutico.



Fonte: Chat GPT, adaptado.

Os hidrogéis são caracterizados por sua capacidade única de armazenar e liberar fármacos de maneira controlada e representam um avanço significativo na área de sistemas de liberação. Com uma estrutura tridimensional composta por polímeros hidrofílicos (Figura 2), esses materiais possuem propriedades excepcionais que os tornam ideais para aplicações dermatológicas, oferecendo vantagens em termos de biocompatibilidade, capacidade de hidratação e flexibilidade na formulação Lin *et al.* (2025).

Figura 2: Estrutura tridimensional dos hidrogéis



Fonte: <https://gazetabrasil.com.br/ciencia-e-tecnologia/2024/07/13/hidrogel-multicomponente-um-marco-na-pesquisa-sobre-alzheimer-e-neurodegeneracao/> Mathes *et al.* (2024)

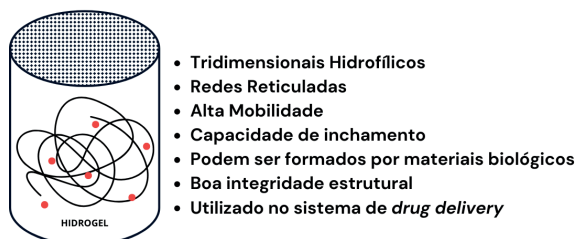
Os hidrogéis têm se destacado em muitas aplicações devido ao seu elevado teor de água. Esses materiais são estruturas poliméricas unidas por ligações cruzadas covalentes, forças iônicas e ligações de hidrogênio, gerando redes tridimensionais que possuem a capacidade de reter grandes volumes de água ou fluidos aquosos. Podem ser formados por polímeros ou proteínas e curiosamente por moléculas menores anfífilas, como surfactantes e lipídios (Ahmed, 2015; Ho *et al.*, 2022; Hoare; Kohane, 2008).

Os hidrogéis são classificados de acordo a sua carga iônica ou estrutura física, pode-se citar os hidrogéis homopoliméricos, hidrogéis copoliméricos, hidrogéis multipolimericos e hidrogéis interpenetrante. Esses materiais são formados por redes de polímeros hidrofílicos que absorvem de 10 a 20% ou até mais vezes em relação ao seu peso seco em água, são estáveis quimicamente ou tendem a se degradar e dissolver.

Curiosamente, os hidrogéis podem apresentar comportamentos reversíveis (inchaço e desinchaço), conhecido como hidrogel físico que é formado por estruturas moleculares desordenadas e/ou forças iônicas de ligações de hidrogênio ou hidrofóbicas. Mas também podem apresentar uma estrutura permanente e estável, chamado de hidrogel químico devido a reticulação covalente entre as cadeias de polímeros Choi *et al.* (2019). Devido as suas funcionalidades, diversas áreas já se utilizam desse material, podendo se destacar a engenharia de tecidos, biomedicina, sensores e sistema de administração de medicamentos. Wang *et al.* (2022).

A figura 3 mostra algumas propriedades dos hidrogéis. Hu *et al.* (2022 e López-Martínez *et al.* (2022).

Figura 3: Propriedades gerais dos hidrogéis.



Fonte: Autores, 2025.

Os benefícios terapêuticos dos hidrogéis, permeiam desde atividades antibacterianas, antifúngicas a anti-inflamatórias o que viabilizam a cicatrização de diversas feridas. Também é notável sua eficácia na administração de medicamentos e liberação controlada. Foi, portanto, conduzida uma investigação científica sobre o uso de hidrogéis como sistemas de liberação controlada de fármacos em terapias dérmicas, destacando seus avanços e os principais desafios para otimizar esse método de cicatrização.

A eficácia dos hidrogéis pode ser ampliada pela incorporação de tecnologias avançadas, como nanopartículas e agentes bioativos, principalmente para condições dermatológicas complexas. Por exemplo, no tratamento de feridas crônicas, hidrogéis carregados com fatores de crescimento podem acelerar a cicatrização ao promover a proliferação celular e angiogênese. Já no caso da acne, agentes antimicrobianos liberados de forma sustentada previnem o surgimento de novas lesões enquanto tratam as existentes. Assim, os hidrogéis não apenas atendem às necessidades terapêuticas dos pacientes, como também oferecem uma experiência mais confortável e prática, melhorando a adesão ao tratamento. Seu potencial transformador destaca-se como uma abordagem que une ciência, tecnologia e inovação na busca por soluções mais eficazes e acessíveis para o cuidado dermatológico (Anderegg *et al.*, 2021; Mohammadinejad *et al.*; 2020).

ESTRUTURAS DOS HIDROGÉIS

Os hidrogéis são compostos por redes tridimensionais de polímeros hidrofílicos, que possuem alta afinidade por água. Essas redes são formadas por cadeias poliméricas interligadas por ligações cruzadas (crosslinking) do tipo química ou física. As interações químicas incluem as ligações covalentes entre os monômeros, conferindo maior estabilidade estrutural ao hidrogel. As interações físicas envolvem forças intermoleculares, como ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas e forças de van der Waals, que resultam em estruturas mais dinâmicas e responsivas (Kaczmarek *et al.*, 2019; Okay, 2009).

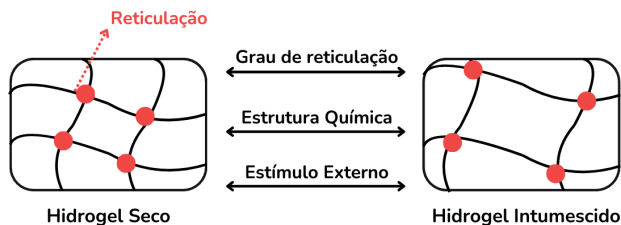
Os polímeros formadores dos hidrogéis podem ser naturais ou sintéticos. Como polímeros naturais podemos citar a quitosana, alginato, colágeno e ácido hialurônico. Os sintéticos são a poli(acrilamida), polietilenoglicol (PEG) e poli(ácido láctico-co-glicólico) (PLGA), que oferecem maior controle sobre as propriedades

mecânicas e químicas. Kaczmarek *et al.* (2019 e Lee; Kim (2018). A grande capacidade de absorção de água dos hidrogéis está relacionada a presença dos grupos funcionais hidrofílicos, esses grupos têm ligações com a estrutura do polímero, em contrapartida a resistência à dissolução ocorre devido às ligações cruzadas de rede. Okay (2009). Os hidrogéis são materiais flexíveis e tem a capacidade de ser moldados, o que vai depender de como serão aplicados. Kaczmarek *et al.* (2019). Vários fatores irão influenciar quando esses materiais se transformam em géis como por exemplo, a temperatura, o pH, força iônica, entre outros. Kaczmarek *et al.* (2019). Outra característica importante dos hidrogéis é o comportamento viscoelástico, essa propriedade está associada a água e ao movimento da rede no fluido (Lee; Kim, 2018).

Os hidrogéis formam uma rede de polímeros, que se unem por ligações covalentes, ligações de hidrogênio, interações supramoleculares, entre outras. Estes se diferenciam de materiais sólidos pela presença da água e baixa elasticidade, menor do que os sólidos comuns, Yang *et al.* (2022). Em contato com água, seu reticulado tende a inchar, tal comportamento acontece devido a alguns fatores como a densidade da rede, natureza do solvente e a interação polímero-solvente. Yang *et al.* (2022). A flexibilidade existente nos hidrogéis possibilita ampla aplicação como na engenharia de tecidos, curativos e administração de medicamentos (Khan; Khan, 2021).

Esse processo de retenção de água e inchamento pode ser observado em três estágios: primeiro, o hidrogel absorve água a partir da capacidade de seus grupos hidrofílicos atraírem moléculas de água, em seguida, a região hidrofílica da matriz polimérica interage com as moléculas de água e entram em equilíbrio pela repulsão da região hidrofóbica, cooperando para o inchaço. Kaczmarek *et al.* (2019 e Okay (2009) . Finalizando, o hidrogel alcança o estágio de equilíbrio ou absorção máxima de água, que é quando as moléculas de água preenchem os espaços vazios e conferem um visual semelhante a um gel (Figura 4) (Ghosh *et al.*, 2025; Lee; Kim, 2018).

Figura 4: Esquema representativo para os retículos de um hidrogel em seu estado seco e intumescido. A expansão dos retículos é ocasionada pela absorção de água.



Fonte: Autores, 2025.

PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas dos hidrogéis são cruciais para sua aplicação em terapias dermatológicas, pois determinam sua capacidade de aderir à pele, resistir a forças externas e liberar fármacos de maneira controlada. Entre as propriedades mais relevantes estão, elasticidade, viscoelasticidade, resistência mecânica. A modulação dessas propriedades pode ser alcançada ajustando a densidade de ligações cruzadas, o tipo de polímero utilizado e a incorporação de aditivos, como nanopartículas (Lei *et al.*, 2022; Srivastava *et al.*, 2021).

A difusão, degradação e estímulos externos, influenciam a liberação de fármacos a partir de hidrogéis. Por exemplo, alterações no pH podem causar mudanças na carga elétrica das cadeias poliméricas, facilitando a liberação do fármaco. A temperatura, pode influenciar o encolhimento ou o inchaço dos hidrogéis, e para hidrogéis fotossensíveis, a luz pode ajudar o fármaco a ser liberado quando expostos a um determinado comprimento de onda (Nafo, 023).

A estrutura dos hidrogéis, combinando química avançada de polímeros e propriedades mecânicas ajustáveis, permite o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada altamente eficazes. Esses materiais oferecem uma plataforma versátil para terapias dermatológicas, com potencial para melhorar significativamente os resultados clínicos e a experiência do paciente.

MECANISMOS DE LIBERAÇÃO CONTROLADA

Os hidrogéis são projetados para liberar fármacos de maneira controlada, utilizando diferentes mecanismos que podem ser ajustados para atender às

necessidades terapêuticas específicas. Esses mecanismos tornam os hidrogéis extremamente versáteis e eficazes em terapias dermatológicas.

Os principais mecanismos de liberação de drogas dos hidrogéis são:

a) Liberação por Difusão

A liberação por difusão ocorre quando o fármaco se move através da matriz do hidrogel para o meio externo. Esse processo é influenciado pelo tamanho dos poros do hidrogel e pela interação entre o fármaco e o polímero. Kakkar; Narula (2022). Um exemplo de liberação por difusão são os hidrogéis carregados com agentes antimicrobianos, como clorexidina que são usados no tratamento de feridas infectadas. A liberação gradual do agente antimicrobiano ajuda a controlar a infecção enquanto promove a cicatrização.

b) Liberação por Degradação

Nesse mecanismo, o hidrogel é projetado para se degradar ao longo do tempo, liberando o fármaco à medida que sua estrutura se rompe. A degradação pode ser controlada por enzimas presentes no local de aplicação ou por condições ambientais, como pH. Hidrogéis biodegradáveis contendo corticosteroides são utilizados no tratamento de psoríase. A degradação do hidrogel permite uma liberação sustentada do medicamento, reduzindo a frequência de aplicação (Manghnani *et al.*, 2025).

c) Liberação Responsiva a Estímulos

Hidrogéis responsivos a estímulos são projetados para liberar fármacos em resposta a mudanças no ambiente, como pH, temperatura ou luz., como mostra a Figura 5 (Gupta *et al.*, 2002; Manghnani *et al.*, 2025).

- **pH:** Hidrogéis sensíveis ao pH são úteis em áreas inflamadas, onde o pH é mais ácido. Por exemplo, no tratamento de acne, hidrogéis liberam agentes antimicrobianos em resposta ao pH ácido das lesões.
- **Temperatura:** Hidrogéis termossensíveis, como os baseados em poli(N-isopropilacrilamida) (PNIPAAm), liberam fármacos quando expostos à temperatura corporal. Eles são usados em queimaduras para liberar analgésicos e agentes cicatrizantes.

- **Luz:** Hidrogéis fotossensíveis liberam fármacos quando expostos a comprimentos de onda específicos de luz. Essa abordagem é promissora para tratamentos localizados de câncer de pele.

Figura 5: Estímulos responsivos dos hidrogéis.



d) Liberação por Inchaço e Contração

Hidrogéis que incham ou contraem em resposta à absorção de água ou outros estímulos podem liberar fármacos de maneira controlada. O inchaço aumenta o tamanho dos poros, permitindo que o fármaco seja liberado. Podemos citar hidrogéis usados em úlceras diabéticas incham ao absorver exsudato da ferida, liberando fatores de crescimento que promovem a regeneração tecidual (Gupta *et al.*, 2002).

e) Liberação por Interações Moleculares

Alguns hidrogéis são projetados para liberar fármacos quando interações específicas, como ligações iônicas ou de hidrogênio, são rompidas. Por exemplo, hidrogéis contendo ácido hialurônico e antibióticos são usados em feridas crônicas. A liberação ocorre quando as interações entre o fármaco e o polímero são interrompidas pelo ambiente da ferida (Gupta *et al.*, 2002).

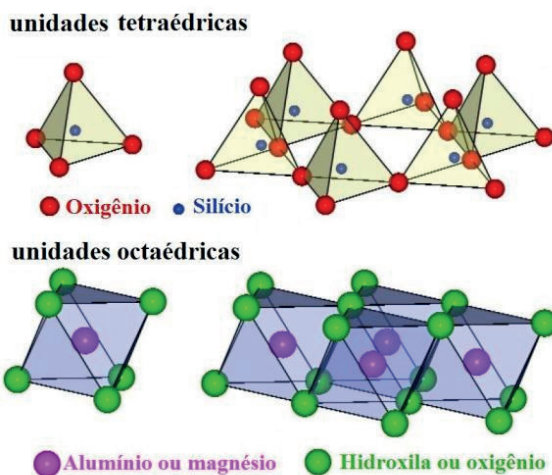
HIDROGÉIS À BASE DE ARGILA E POLÍMEROS

Os polissacarídeos, como gomas, celulose, amido, quitosa, vêm sendo utilizados na produção de hidrogéis. Os polissacarídeos podem aumentar a biocompatibilidade, biodegradabilidade e a capacidade de absorção de água de matrizes a base de hidrogéis, bem como diminuir sua toxicidade. Os hidrogéis podem ser obtidos por reticulações químicas ou físicas. As reticulações químicas depois de formadas, não mais poderão ser quebradas, enquanto as físicas (ligações de hidrogênio, forças de van der Waals, quando expostas a um estímulo externo, mudança de pH, temperatura ou íons, podem sofrer mudanças na sua estrutura (Caló; Khutoryanskiy, 2015; Peppas; Khare, 1993)

Os hidrogéis à base de materiais orgânicos tem se destacado uma vez que são de baixo custo e apresenta biocompatibilidade inerente, porém a baixa reprodutividade e a instabilidade química fazem com que esses materiais apresentem uma desvantagem em relação a obtenção dos hidrogéis. Assim a combinação de materiais inorgânicos, como as cerâmicas ou as argilas com polissacarídeos, como quitosana e gomas, pode trazer materiais extremamente eficazes (Ruiz-Fresneda *et al.*, 2024).

As argilas são minerais quimicamente estruturados por camadas octaédricas de Al, Mg e/ou Fe hidratadas e tetraédrica de SiO₄, são normalmente chamadas de filossícatos, (Figura 6). Claridge; Campbell (1986 e Huff (1990 e Vieira Coelho *et al.* (2007). Podem ser classificadas como nanoargila, onde suas folhas ou camadas estruturais podem se apresentar em dimensões da ordem de 1 nm. Como essas dimensões suas propriedades de troca iônica, habilidade de absorção, capacidade de expansão se tornam bastante interessante para híbridos como polissacarídeos. A literatura aponta que em períodos pré-históricos, os indivíduos misturavam água com argila para utilização em curativos, limpeza de pele e possíveis irritações na pele (Carretero, 2002).

Figura 6 – Estruturas dos argilos-minerais.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura1-Unidades-da-estrutura-cristalina-de-uma-argila-esmectita-em-vista-estereoscopica_fig1_280093790

Atualmente o uso das nanoargilas tem se expandido e para utilização na área biomédica o atrativo é a inércia química e a atoxidade. A argila na composição do hidrogel melhora a condutividade eletrônica, maior eficácia, resistência à tração, bem como, tornam-se materiais mais econômicos, fazendo com que métodos sejam implantados para utilização de argilas na produção de hidrogéis (Khan; Khan, 2021)

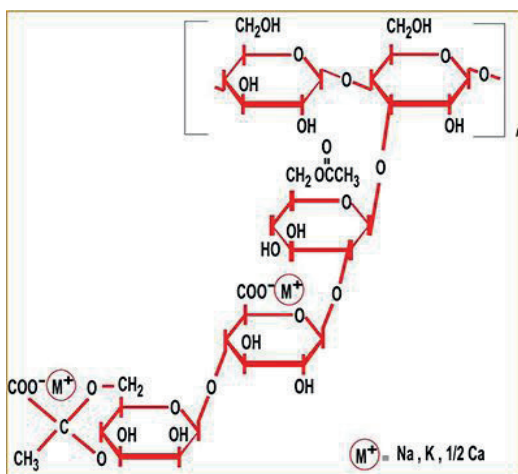
O campo de aplicação dos materiais argilo-minerais é amplo, devido a suas propriedades físico-químicas, que possibilita a modificação de sua superfície, tornando-se novos materiais para novas aplicações. Lima *et al.* (2019). Materiais de diferentes naturezas, por exemplo, orgânico e inorgânico quando combinados, um novo material é criado e então sua aplicação pode ser vasta. Gaviria Agudelo; Restrepo (2022). As argilas minerais, podem interagir com polissacarídeos, produzindo uma matriz mineral-polimétrica, contribuindo para o crescimento e exploração de um sistema de administração de medicamentos. Gaviria Agudelo; Restrepo (2022).

Uma enorme variedade de biopolímeros hiper ramificados tem sido sintetizada para o fim de distribuição de medicamentos, dentre eles: poliésteres, poliácido láctico, poliácido glicólico, poligliceróis e outros. Brito (2018). Além dessas variedades de polímeros, os polímeros naturais como o amido, quitosana e gomas, tem apresentado avanços significativos para indústrias farmacêuticas no que diz respeito ao uso desses como carreadores de medicamentos (Ngwuluka *et al.*, 2014; Tong *et al.*, 2020).

Estudos anteriores declararam que os hidrogéis podem efetivamente melhorar o teor de umidade no estrato córneo (que normalmente é de cerca de 25%) devido ao seu alto teor de água. Crowther *et al.* (2008 e Lee *et al.* (2014). No entanto, até onde sabemos, não há estudos sobre os efeitos da hidratação causada pelos hidrogéis na estrutura da pele e como isso afeta a administração transdérmica. Consequentemente, este estudo tenta descrever o efeito transdérmico do hidrogel usando um hidrogel à base de polissacarídeo como uma plataforma para melhorar a administração transdérmica. Embora os polímeros sintéticos sejam capazes de formar hidrogel, os polissacarídeos são mais frequentemente selecionados para administração de medicamentos e fins cosméticos porque a maioria é biodegradável e geralmente não tóxica (Sharma; Bhende, 2024).

Os hidrogéis desenvolvidos à base de polissacarídeos, como as gomas são materiais formados por redes poliméricas. As gomas são obtidas de exsudados de plantas e possuem características hidrofílicas devido a presença de grupos funcionais como hidroxilas, carboxila e grupos acetilados (Figura 7). Esses grupos possibilitam a absorção e a retenção de água, auxiliando na formação de hidrogel. Os hidrogéis à base de gomas são biocompatíveis, biodegradáveis de baixo custo, que tornam materiais possíveis de aplicações biomédicas, farmacêuticas, agrícolas e ambientais (Sinha; Kumria, 2001; Zhao *et al.*, 2023).

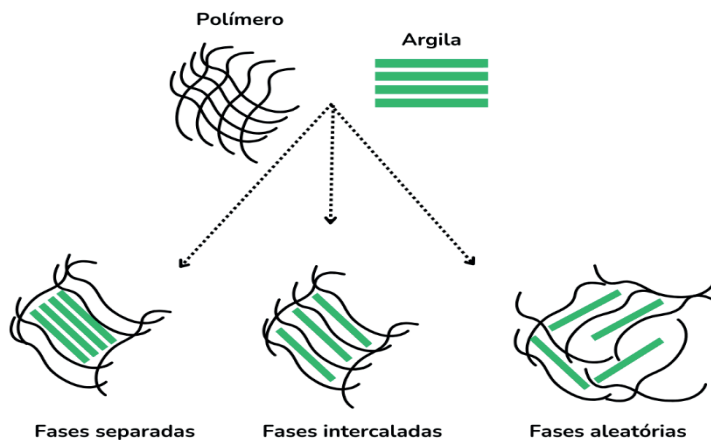
Figura 7 – Estrutura Química da Goma Xantana.



Fonte: <https://pt.ingredientfood.com/info/chemical-structure-for-xanthan-gum-51559014.html>

Com propósito de melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e funcionais em hidrogéis à base de goma, é realizado a incorporação com a argila. Esses materiais são definidos como materiais híbridos uma vez que a argila tem a capacidade de fortificar a matriz polimérica aumentando a elasticidade, estabilidade mecânica, bem como aumentando e controlando a retenção de água (Figura 8). Esses híbridos podem ser alcançados pelos realizando procedimentos como a mistura física, observando as partículas da argila na solução do polímero; entrecruzamento in situ, método de formação de hidrogel na presença da goma e a polimerização intercalada, ou seja, o polímero é intercalado entre camadas de argilas (Ianchis *et al.*, 2020; Trambitski *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2020).

Figura 8: Estrutura dos hidrogéis sintetizados com polímeros e argilas, conforme ocorre a incorporação.



Fonte: Autores, 2025.

CARREAMENTO DE FÁRMACOS EM HIDROGÉIS

Os hidrogéis possuem características apreciáveis, destacando a capacidade de realizar ligações covalentes dinâmicas (ligações imina, reação de Diels-Alder, interações de coordenação metal, ligações boronato-éster, ligações dissulfeto), interações não covalentes (por exemplo, ligações de hidrogênio, hidrofóbicas, eletrostáticas, interações hospedeiro-hóspede) e ligações físicas, assumindo assim maior estabilidade e uma liberação controlada de fármacos. Além disso, essas ligações proporcionam a este material a capacidade de imitar

certas habilidades de tecidos biológicos, ou seja, são biocompatíveis, o que gera um meio ideal para ser utilizado como carreador de fármaco. Park *et al.* (2024).

Tais características tornam os hidrogéis capazes de encapsular moléculas bioativas, como drogas medicamentosas, proteínas e material genético. O sistema de liberação dessas moléculas pode ser influenciado pelas interações e ligações da matriz do hidrogel e pode ser regulada pela densidade da matriz do gel, que depende da concentração ou modificações químicas dos blocos de construção do gel (Machado *et al.*, 2024).

Os mecanismos de administração podem ocorrer por meio transdérmico, oral, nasal, ocular, parental e intravenoso. Existem vantagens específicas para cada tipo, tendo como principal a possibilidade de contemplar diferentes necessidades (Sinha; Kumria, 2001; Zhao *et al.*, 2023).

Para que o administrador de fármaco seja promissor é preciso que tenha uma capacidade de estimular a liberação sustentada da molécula terapêutica por um longo tempo. Com base nisso, os hidrogéis poliméricos são vantajosos para esta questão, uma vez que para cumprimento do estudo de liberação sustentada, o material deve apresentar propriedades regulares como inchaço, porosidade, estabilidade e capacidade de responder aos estímulos externos, pH, pressão, íons, estímulos biológicos.

Os avanços em pesquisas de hidrogéis no sistema *drug delivery* para aplicação dérmica, têm apresentado resultados promissores no tratamento de doenças inflamatórias. Esses resultados só tiveram êxito devido os hidrogéis apresentarem alta biocompatibilidade, capacidade de encapsulação, liberação de agentes terapêuticos e alto teor de água (Sghier *et al.*, 2024).

Wang e Colaboradores (2022), desenvolveram um hidrogel à base de quitosana para carregar a vancomicina, medicamento usado para tratamento de infecções de feridas causadas por staphylococcus aureus (Wang *et al.*, 2023). Durante a pesquisa foi possível observar que a ação do medicamento com a presença do hidrogel fez com que a cicatrização aguda da ferida ocorresse de forma visível, mostrando que o material desenvolvido foi promissor na administração do medicamento.

Ferreira *et al.* (2019), desenvolveu um hidrogel à base de goma de xantana com o intuito de avaliar o efeito antitumoral de nanocápsula polimérica carregada com disseleneto de difenila (Ferreira *et al.*, 2020). Foi possível observar que o

hidrogel contendo o medicamento apresentou um efeito antitumoral superior em comparação com o medicamento no seu estado livre, como também o aumento do conteúdo no nitrito. Em relação ao estudo de permeação cutânea, notou-se que o conteúdo da formulação foi maior para o hidrogel de base de nano na camada da derme, apresentando sua permeação superior, devido o encapsulamento do composto.

Badhe *et al.* (2021), produziu um hidrogel aplicado à ferida como eletroterapia para cicatrização. Este estudo mostra o desenvolvimento e o teste de eficácia na cicatrização de feridas do hidrogel composto de polianilina e quitosana encapsulada em vitamina D. Observou-se que o hidrogel usado para estimular eletricamente a ferida foi eficaz e foi possível perceber que os fatores de crescimento com a vitamina D cura a ferida mais rápido em comparação com as feridas de controle não tratadas (Badhe *et al.*, 2021).

O processo de cicatrização, permeia pela renovação de células, tecidos e até vasos sanguíneos. Su *et al.* (2024), estimulou a angiogênese em pacientes submetidos à radioterapia com um hidrogel composto gelatina, acrilamida e nanoargila e nanopartículas carregadas com curcumina, Su *et al.* (2024). Em lesões cutâneas, os hidrogéis podem atuar também no combate à dor, como demonstrou Zhai *et al.* (2024), Zhai *et al.* (2024) que testou o ácido cafeico, lincomicina e lidocaína carregados em hidrogéis de fucoidan e carboximetil quitosana na cicatrização de feridas de queimadura, inibindo a dor e a proliferação bacteriana.

APLICAÇÕES EM TERAPIAS DERMATOLÓGICAS

Tratamento de Feridas Crônicas

Feridas crônicas, como úlceras diabéticas e escaras, representam um grande desafio terapêutico devido à dificuldade de cicatrização e ao risco de infecção. Hidrogéis têm sido amplamente utilizados para promover a regeneração tecidual e controlar infecções. O uso de hidrogéis enriquecidos com nanopartículas de prata para tratar úlceras diabéticas, mostraram uma redução significativa na carga bacteriana e uma aceleração no processo de cicatrização em comparação com curativos tradicionais. Khampieng *et al.* (2018).

Psoríase

A psoríase é uma doença inflamatória crônica da pele que requer terapias tópicas eficazes para controlar os sintomas. Hidrogéis têm sido utilizados como veículos para a liberação sustentada de corticosteroides e imunomoduladores. Um hidrogel contendo betametasona foi aplicado em pacientes com psoríase em placas e o resultado foi uma redução significativa na inflamação e descamação após quatro semanas de uso contínuo (Gizaway *et al.*, 2017; Rudnicka *et al.*, 2021).

Acne

A acne, uma das condições dermatológicas mais comuns, pode ser tratada com hidrogel que liberam agentes antimicrobianos e anti-inflamatórios de forma controlada. Hidrogéis contendo azul de metileno foram utilizados em terapia fotodinâmica para tratar acne vulgar (Lee *et al.*, 2023).

Os resultados mostraram uma redução significativa na população de *Cutibacterium acnes* e na inflamação cutânea. Além disso, podemos citar que hidrogéis combinados com nanopartículas antimicrobianas demonstraram eficácia na redução de lesões de acne, com menor risco de resistência bacteriana (Ahmad *et al.*, 2024).

Câncer de Pele

Carcinoma basocelular e melanoma tem sido tratados com hidrogéis como sistemas de liberação para quimioterápicos tópicos. Doxorrubicina foi incorporada em hidrogel em combinação com ultrassom de baixa frequência para aumentar a permeabilidade da pele e a penetração do fármaco. Aqui podemos citar hidrogéis fotossensíveis que liberam o medicamento em resposta à luz e permitem tratamentos localizados e minimizando danos aos tecidos saudáveis. (Pereira *et al.*, 2017; Petrilli; Lopez, 2018; Zhao *et al.*, 2020).

CICATRIZAÇÃO DE LESÕES DERMATOLÓGICAS

Hidrogéis à base de polímeros naturais, como quitosana, gomas e ácido hialurônico, têm sido utilizados para acelerar a cicatrização de lesões dermatológicas. Hidrogel a base de galactomanana foi aplicado em lesões dérmicas experimentais, mostrando uma taxa de cicatrização de 99,97% após 20 dias de tratamento. Além disso, quando são enriquecidos com antioxidantes naturais demonstraram reduzir a inflamação e promover a regeneração celular em lesões cutâneas (Lucas de Lima *et al.*, 2020; Studzińska-Sroka *et al.*, 2024)

DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os principais desafios a serem superados, são problemas como baixa penetração de medicamentos através do estrato córneo (ou camada de queratina), controle limitado sobre sua liberação de pomadas e cremes padrão e baixa adesão do paciente em resposta a efeitos adversos. Um outro limitante do uso de hidrogéis como *drug delivery* na pele é devido às propriedades em massa do carreador, pois alterações em sua estrutura cruzada interferem diretamente na cinética de liberação e simultaneamente necessitam de estímulos para ajustar a liberação (Day *et al.*, 2022; Park *et al.*, 2024).

Day *et al.* (2022), interessado em superar as adversidades na aplicação de hidrogéis sobre a pele propôs um hidrogel adesivo de tecido incorporado com micropartículas que permitem a liberação ajustável de medicamentos encapsulados de uma maneira que é desacoplada das propriedades em massa do hidrogel, sendo obtido um material de liberação multimodal, neste caso foram testados para liberação o resiquimod e palbociclib, potencializando a inibição de células tumorais em regiões com melanoma (Day *et al.*, 2022).

A combinação de técnicas para a construção de novos hidrogéis geram mais pesquisas e atraem um olhar para estas descobertas. A impressão 3D é bastante utilizada para construção de biomateriais, podendo ser precisa na versão do produto. Partindo dessa óptica, Song *et al.* (2024) promoveu a construção de uma bicamada protetora para peles lesionadas, simulando a epiderme e a derme, de hidrogel impressos em 3D e nanofibras eletrofiadas para evitar a proliferação bacteriana e o contato da lesão com o meio externo, sendo carreado

como droga antibacteriana a amoxicilina, promovendo uma liberação estável, efeitos antibacterianos e uma excelente biocompatibilidade (Song *et al.*, 2024).

Recentemente, tem havido um interesse crescente em hidrogéis inteligentes, que liberam sua carga biológica em resposta a estímulos como temperatura, pH ou luz. Machado *et al.* (2024). Em caráter investigativo, (Zhang *et al.*, 2024) sugeriu um hidrogel inteligente de nanopartículas de sílica funcionalizadas e hidrogel de ácido hialurônico-quitosana para administração controlada de desferoxamina por meio da regulação de iluminação infravermelha próxima, apresentando bastante potencial na cicatrização de feridas cutâneas (Zhang *et al.*, 2024).

Buscando sarar feridas crônicas, o aprimoramento de hidrogéis de adesão úmida possui um potencial de contrair a região lesada e liberar controladamente o fármaco de interesse. Seguindo esse pensamento, You *et al.* (2024) desenvolveu um hidrogel adesivo úmido enriquecido com polifenóis com o efeito sinérgico de ativação mecânica e eliminação de espécies reativas de oxigênio afim de acelerar a cicatrização de feridas diabéticas infectadas, obtendo êxito na pesquisa (You *et al.*, 2024).

Outros desafios estão relacionados à sua estabilidade em ambientes biológicos e à funcionalidade em aplicações específicas. Alguns dos principais obstáculos são a degradação prematura, ou seja, os hidrogéis biodegradáveis podem se degradar mais rapidamente do que o esperado, comprometendo a liberação controlada de fármacos. Podem apresentar compatibilidade com diferentes fármacos, significando que nem todos os medicamentos podem ser incorporados de maneira eficaz em hidrogéis, devido às limitações químicas ou físicas. E outro fator está relacionado à resistência mecânica, pois quando são usados em áreas de alta mobilidade, como articulações, podem sofrer rupturas ou deformações (Arenhart Soares; Besenius, 2025; DeLuc, 2007; Dodda *et al.*, 2023; Kamath; Park, 1993).

Algumas soluções emergentes podem ajudar na resolução dos problemas com o uso de hidrogéis para fins de liberação de medicamentos, principalmente para aplicações de doenças de pele. A introdução de grupos funcionais específicos nos polímeros pode melhorar a estabilidade e a interação com fármacos, (Zhang *et al.*, 2020). A incorporação de nanopartículas pode aumentar a resistência mecânica e permitir a liberação de múltiplos medicamentos simultaneamente (Baig *et al.*, 2021). A personalização de terapias dermatológicas

utilizando hidrogéis ainda é limitada pela dificuldade de ajustar as propriedades do material para atender às necessidades individuais dos pacientes (Kurian *et al.*, 2024; Mohite *et al.*, 2024).

Sendo assim, o campo de pesquisas em hidrogéis é vasto, entretanto são necessárias pesquisas em torno de materiais multifuncionais e que apresentem propriedades químicas e físicas apreciáveis. Por exemplo hidrogéis que respondem a múltiplos estímulos, como pH, temperatura e luz que podem ser projetados para liberar medicamentos de forma adaptada às condições biológicas do paciente (Protsak; Morozov, 2025).

A utilização de polímeros naturais e biodegradáveis pode reduzir os custos e o impacto ambiental. Materiais que podem mudar suas propriedades em resposta a estímulos externos, como temperatura ou pressão, chamados de materiais inteligentes (Ju *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2024).

Combinações de polímeros naturais e sintéticos para criar hidrogéis com propriedades otimizadas, como por exemplo as argilas, que melhoram as propriedades mecânicas dos hidrogéis (Bashir *et al.*, 2020; Sionkowska, 2011).

REFERÊNCIAS

AHMAD, N.; BUKHARI, S. N. A.; HUSSAIN, M. A.; *et al.* Nanoparticles incorporated hydrogels for delivery of antimicrobial agents: developments and trends. RSC Advances, v. 14, n. 19, p. 13535–13564, 2024. Royal Society of Chemistry.

AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. Journal of Advanced Research, 2015.

ANDEREGG, U.; HALFTER, N.; SCHNABELRAUCH, M.; HINTZE, V. Collagen/glycosaminoglycan-based matrices for controlling skin cell responses. Biological Chemistry, 2021.

ARENHART SOARES, F.; BESENIUS, P. Mechanophoric hydrogels: when mechanical stress produces useful responses. Organic Chemistry Frontiers, 2025. Royal Society of Chemistry.

BADHE, R. V.; GODSE, A.; SHINKAR, A.; *et al.* Development and characterization of conducting-polymer-based hydrogel dressing for wound healing. Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 18, n. 4, 2021.

BAIG, N.; KAMMAKAKAM, I.; FALATH, W.; KAMMAKAKAM, I. Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. Materials Advances, 2021.

BASHIR, S.; HINA, M.; IQBAL, J.; *et al.* Fundamental concepts of hydrogels: Synthesis, properties, and their applications. Polymers, 2020.

CALÓ, E.; KHUTORYANSKIY, V. V. Biomedical applications of hydrogels: A review of patents and commercial products. *European Polymer Journal*, 2015.

CARRETERO, M. I. Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review. *Applied Clay Science*, v. 21, n. 3–4, 2002.

CHOI, J. R.; YONG, K. W.; CHOI, J. Y.; COWIE, A. C. Recent advances in photo-crosslinkable hydrogels for biomedical applications. *BioTechniques*, 2019.

CLARIDGE, G. G. C.; CAMPBELL, I. B. Clay mineralogy. Antarctic Cenozoic history from the MSSTS-1 drillhole, McMurdo Sound, 1986.

COSTA, A.; MOISÉS, T. A.; CORDERO, T.; *et al.* Tratado de Dermatologia - Belda - 2º edição.pdf. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, v. 43, n. 2, 2009.

CROWTHER, J. M.; SIEG, A.; BLENKIRON, P.; *et al.* Measuring the effects of topical moisturizers on changes in stratum corneum thickness, water gradients and hydration in vivo. *British Journal of Dermatology*, v. 159, n. 3, 2008.

DAY, N. B.; DALHUISEN, R.; LOOMIS, N. E.; *et al.* Tissue-adhesive hydrogel for multimodal drug release to immune cells in skin. *Acta Biomaterialia*, v. 150, 2022.

DELUCA, P. P. AAPS PharmSciTech volume 8, issue 4 - Editorial. *AAPS PharmSciTech*, 2007.

DODDA, J. M.; DESHMUKH, K.; BEZUIDENHOUT, D.; YEH, Y.-C. Hydrogels: Definition, History, Classifications, Formation, Constitutive Characteristics, and Applications. *Multicomponent Hydrogels*, 2023.

FERREIRA, L. M.; SARI, M. H. M.; AZAMBUJA, J. H.; *et al.* Xanthan gum-based hydrogel containing nanocapsules for cutaneous diphenyl diselenide delivery in melanoma therapy. *Investigational New Drugs*, v. 38, n. 3, p. 662–674, 2020. Springer. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85068792624&doi=10.1007%2fs10637-019-00823-2&partnerID=40&md5=2322855543c16bbc208a733615c07841>>. .

GAVIRIA AGUDELO, C.; RESTREPO, L. M. Human Skin Cancer: an Overview Of Animal, Ex Vivo, and In Vitro Models. *Current Dermatology Reports*, 2022.

GHOSH, S.; KUMAR, N.; CHATTOPADHYAY, S. Electrically conductive “SMART” hydrogels for on-demand drug delivery. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1. fev. 2025. Shenyang Pharmaceutical University.

GIZAWAY, S. EL; FADEL, M.; MOURAD, B.; ELNABY, F. E. A. BETAMETHASONE DIPROPIONATE GEL FOR TREATMENT OF LOCALIZED PLAQUE PSORIASIS. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, v. 9, n. 8, 2017.

GUPTA, P.; VERMANI, K.; GARG, S. Hydrogels: From controlled release to pH-responsive drug delivery. *Drug Discovery Today*, 2002.

HO, T. C.; CHANG, C. C.; CHAN, H. P.; *et al.* Hydrogels: Properties and Applications in Biomedicine. *Molecules*, 2022.

HOARE, T. R.; KOHANE, D. S. Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges. *Polymer*, 2008.

HU, X. Y.; ZHANG, L. L.; YAN, L. L.; TANG, L. H. Recent Advances in Polysaccharide-Based Physical Hydrogels and Their Potential Applications for Biomedical and Wastewater Treatment. *MACROMOLECULAR BIOSCIENCE*, v. 22, n. 9, 2022.

HUFF, W. D. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, by D. M. Moore and R. C. Reynolds Jr., Oxford University Press, New York, 1989. 332 + xvi pp., soft cover, \$24.95. Clays and Clay Minerals, v. 38, n. 4, 1990.

IANCHIS, R.; NINCIULEANU, C. M.; GIFU, I. C.; *et al.* Hydrogel-clay Nanocomposites as Carriers for Controlled Release. CURRENT MEDICINAL CHEMISTRY, v. 27, n. 6, p. 919–954, 2020.

JU, X. J.; XIE, R.; YANG, L.; CHU, L. Y. Biodegradable “intelligent” materials in response to chemical stimuli for biomedical applications. Expert Opinion on Therapeutic Patents, 2009.

KACZMAREK, B.; NADOLNA, K.; OWCZAREK, A. The physical and chemical properties of hydrogels based on natural polymers. Hydrogels Based on Natural Polymers, 2019.

KAKKAR, V.; NARULA, P. Role of molecularly imprinted hydrogels in drug delivery - A current perspective. International Journal of Pharmaceutics, 2022.

KAMATH, K. R.; PARK, K. Biodegradable hydrogels in drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews, v. 11, n. 1–2, 1993.

KHAMPIENG, T.; WONGKITTITHAVORN, S.; CHAIARWUT, S.; *et al.* Silver nanoparticles-based hydrogel: Characterization of material parameters for pressure ulcer dressing applications. Journal of Drug Delivery Science and Technology, v. 44, 2018.

KHAN, S. A.; KHAN, T. A. Clay-hydrogel nanocomposites for adsorptive amputation of environmental contaminants from aqueous phase: A review. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING, v. 9, n. 4, 2021.

KURIAN, A. G.; SINGH, R. K.; SAGAR, V.; LEE, J. H.; KIM, H. W. Nanozyme-Engineered Hydrogels for Anti-Inflammation and Skin Regeneration. Nano-Micro Letters, 2024.

LEE, J. H.; KIM, H. W. Emerging properties of hydrogels in tissue engineering. Journal of Tissue Engineering, v. 9, 2018.

LEE, S. G.; KIM, S. R.; CHO, H. I.; *et al.* Hydrogel-based ultra-moisturizing cream formulation for skin hydration and enhanced dermal drug delivery. Biological and Pharmaceutical Bulletin, v. 37, n. 10, 2014.

LEE, Y. D.; YANG, J. K.; HAN, S.; *et al.* Topical methylene blue nanoformulation for the photodynamic therapy of acne vulgaris. Archives of Dermatological Research, v. 315, n. 4, 2023.

LEI, L.; BAI, Y.; QIN, X.; *et al.* Current Understanding of Hydrogel for Drug Release and Tissue Engineering. Gels, 2022.

LIMA, L. C. B.; COELHO, C. C.; SILVA, F. C.; *et al.* Hybrid systems based on talc and chitosan for controlled drug release. Materials, v. 12, n. 21, 2019. MDPI AG.

LIN, X.; ZHANG, X.; WANG, Y.; *et al.* Hydrogels and hydrogel-based drug delivery systems for promoting refractory wound healing: Applications and prospects. International Journal of Biological Macromolecules, 1. jan. 2025. Elsevier B.V.

LOPÉZ-MARTÍNEZ, E. E.; CLAUDIO-RIZO, J. A.; CALDERA-VILLALOBOS, M.; *et al.* Hydrogels for Biomedicine Based on Semi-Interpenetrating Polymeric Networks of Collagen/Guar Gum: Applications in Biomedical Field and Biocompatibility. Macromolecular Research, v. 30, n. 6, p. 384–390, 2022. Polymer Society of Korea. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129802507&doi=10.1007%2fs13233-022-0048-2&partnerID=40&md5=435824f660b9faa4e5a4d6ab52cbd606>>.

LUCAS DE LIMA, E.; FITTIPALDI VASCONCELOS, N.; DA SILVA MACIEL, J.; *et al.* Injectable hydrogel based on dialdehyde galactomannan and N-succinyl chitosan: a suitable platform for cell culture. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, v. 31, n. 1, 2020.

MACHADO, R. L.; GOMES, A. C.; MARQUES, E. F. Hydrogels as versatile colloidal platforms to combat skin cancer – Physicochemical features, strategies and advances. *Journal of Molecular Liquids*, 15. dez. 2024. Elsevier B.V.

MANGHNANI, P. N.; NELSON, A. Z.; WONG, K.; *et al.* From burst to controlled release: using hydrogel crosslinking chemistry to tune release of micro-crystalline active pharmaceutical ingredients. *RSC Pharmaceutics*, v. 2, n. 1, p. 94–101, 2025. Disponível em: <<https://xlink.rsc.org/?DOI=D4PM00186A>>.

MATHES, T. G.; MONIRIZAD, M.; ERMIS, M.; *et al.* Effects of amyloid- β -mimicking peptide hydrogel matrix on neuronal progenitor cell phenotype. *Acta Biomaterialia*, v. 183, p. 89–100, 2024. *Acta Materialia Inc.*

DE MIDAZOLAM, L. Fabrícia Pereira Brito OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DE FILMES DE QUITOSANA/ GELATINA PARA. .

MOHAMMADINEJAD, R.; KUMAR, A.; RANJBAR-MOHAMMADI, M.; *et al.* Recent Advances in Natural Gum-Based Biomaterials for Tissue Engineering and Regenerative Medicine: A Review. *POLYMERS*, v. 12, n. 1, 2020.

MOHITE, P.; PURI, A.; MUNDE, S.; *et al.* Hydrogel-Forming Microneedles in the Management of Dermal Disorders Through a Non-Invasive Process: A Review. *Gels*, 1. nov. 2024. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

NAFO, W. Hydrogel Biomaterials for Drug Delivery: Mechanisms, Design, and Drugs. *Hydrogels - From Tradition to Innovative Platforms with Multiple Applications*, 2023.

NGWULUKA, N. C.; OCHEKPE, N. A.; ARUOMA, O. I. Naturapolyceutics: The science of utilizing natural polymers for drug delivery. *Polymers*, 2014.

OKAY, O. General Properties of Hydrogels. , 2009.

PARK, J. W.; KIM, H.; HAM, J.; LEE, W.; KOH, W. G. Cell-adhesive double network self-healing hydrogel capable of cell and drug encapsulation: New platform to construct biomimetic environment with bottom-up approach. *Carbohydrate Polymers*, v. 338, 2024. Elsevier Ltd.

PEPPAS, N. A.; KHARE, A. R. Preparation, structure and diffusional behavior of hydrogels in controlled release. *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 11, n. 1–2, 1993.

PEREIRA, T. A.; RAMOS, D. N.; LOPEZ, R. F. V. Hydrogel increases localized transport regions and skin permeability during low frequency ultrasound treatment. *Scientific Reports*, v. 7, 2017.

PETRILLI, R.; LOPEZ, R. F. V. Physical methods for topical skin drug delivery: Concepts and applications. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2018.

PROTSAK, I. S.; MOROZOV, Y. M. Fundamentals and Advances in Stimuli-Responsive Hydrogels and Their Applications: A Review. *Gels*, 1. jan. 2025. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

RUDNICKA, L.; OLSZEWSKA, M.; GOLDUST, M.; *et al.* Efficacy and safety of different formulations of calcipotriol/betamethasone dipropionate in psoriasis: Gel, foam, and ointment. *Journal of Clinical Medicine*, 2021.

RUIZ-FRESNEDA, M. A.; GONZÁLEZ-MORALES, E.; GILA-VILCHEZ, C.; *et al.* Clay-polymer hybrid hydrogels in the vanguard of technological innovations for bioremediation, metal biorecovery, and diverse applications. *Materials Horizons*, 15. ago. 2024. Royal Society of Chemistry.

SGHIER, K.; MUR, M.; VEIGA, F.; PAIVA-SANTOS, A. C.; PIRES, P. C. Novel Therapeutic Hybrid Systems Using Hydrogels and Nanotechnology: A Focus on Nanoemulgels for the Treatment of Skin Diseases. *Gels*, 2024.

SHARMA, S.; BHENDE, M. An overview: non-toxic and eco-friendly polysaccharides—its classification, properties, and diverse applications. *Polymer Bulletin*, 1. set. 2024. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

SINGH, D.; SHARMA, Y.; DHEER, D.; SHANKAR, R. Stimuli responsiveness of recent biomacromolecular systems (concept to market): A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024.

SINHA, V. R.; KUMRIA, R. Polysaccharides in colon-specific drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*, 2001.

SIONKOWSKA, A. Current research on the blends of natural and synthetic polymers as new biomaterials: Review. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 2011.

SONG, Y.; HU, Q.; LIU, S.; *et al.* Electrospinning/3D printing drug-loaded antibacterial polycaprolactone nanofiber/sodium alginate-gelatin hydrogel bilayer scaffold for skin wound repair. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 275, 2024.

SRIVASTAVA, N.; RICHA; CHOUDHURY, A. R. Recent advances in composite hydrogels prepared solely from polysaccharides. *COLLOIDS AND SURFACES B-BIOINTERFACES*, v. 205, 2021.

STUDZIŃSKA-SROKA, E.; PACZKOWSKA-WALENDOWSKA, M.; ERDEM, C.; *et al.* Anti-Aging Properties of Chitosan-Based Hydrogels Rich in Bilberry Fruit Extract. *Antioxidants*, v. 13, n. 1, 2024.

SU, Y.; XU, J.; LIU, W.; *et al.* A gelatin/acrylamide-based hydrogel for smart drug release monitoring and radiation-induced wound repair in breast cancer. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 283, 2024. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85209736155&doi=10.1016%2fj.ijbiomac.2024.137845&partnerID=40&md5=9c9f78aea3f302d0c5e89ca81f30d8b3>>.

TONG, X.; PAN, W.; SU, T.; *et al.* Recent advances in natural polymer-based drug delivery systems. *Reactive and Functional Polymers*, 2020.

TRAMBITSKI, Y.; KIZINIEVIČ, O.; GASPAR, F.; KIZINIEVIČ, V.; VALENTE, J. F. A. Eco-friendly unfired clay materials modified by natural polysaccharides. *Construction and Building Materials*, v. 400, 2023.

VIEIRA COELHO, A. C.; SANTOS, P. D. S.; SANTOS, H. D. S. Argilas especiais: O que são, caracterização e propriedades. *Química Nova*, 2007.

WANG, J.; YANG, Y.; HUANG, L.; *et al.* Development of responsive chitosan-based hydrogels for the treatment of pathogen-induced skin infections. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 219, 2022.

WANG, X.; SONG, R.; JOHNSON, M.; *et al.* Chitosan-Based Hydrogels for Infected Wound Treatment. *Macromolecular Bioscience*, 2023.

YANG, Y.; REN, Y.; SONG, W.; YU, B.; LIU, H. Rational design in functional hydrogels towards biotherapeutics. *Materials and Design*, 2022.

YOU, M.; GUO, Y.; YU, H.; *et al.* Polyphenol-enhanced wet adhesive hydrogel with synergistic mechanical activation and ROS scavenging for accelerating diabetic wound healing. *Chemical Engineering Journal*, v. 500, 2024. Elsevier B.V.

ZHAI, G.; WANG, Y.; HAN, P.; *et al.* Drug loaded marine polysaccharides-based hydrogel dressings for treating skin burns. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 281, 2024. Elsevier B.V.

ZHANG, L.; ZHU, P.; ZHAO, B.; *et al.* Composite nano hydrogel with dual response and hierarchical drug release for enhanced wound healing. *Materials and Design*, v. 239, 2024.

ZHANG, Y.; ZHANG, Q.; HOU, D.; ZHANG, J. Tuning interfacial structure and mechanical properties of graphene oxide sheets/polymer nanocomposites by controlling functional groups of polymer. *Applied Surface Science*, v. 504, 2020.

ZHAO, J.; LIANG, X.; CAO, H.; TAN, T. Preparation of injectable hydrogel with near-infrared light response and photo-controlled drug release. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 7, n. 1, 2020.

ZHAO, L. L.; ZHOU, Y. F.; ZHANG, J. Y.; *et al.* Natural Polymer-Based Hydrogels: From Polymer to Biomedical Applications. *PHARMACEUTICS*, v. 15, n. 10, 2023.

IN VITRO* ANTAGONISTIC ACTIVITY OF BACTERIAL PRODUCTS AGAINST RACES OF *Fusarium oxysporum* F. SP. *lycopersici

Eder Marques

Federal University of Goiás (UFG)

Moisés Rodrigues Silva

Federal University of Goiás (UFG)

Gabriel Silva Costa

Federal University of Goiás (UFG)

Wanessa Mendanha Soares

Federal University of Goiás (UFG)

Marcos Gomes da Cunha

Federal University of Goiás (UFG)

ABSTRACT

Tomato is a crop of significant importance for human consumption, and Brazil is among the leading producers worldwide. However, various diseases cause substantial losses in tomato cultivation, with wilt, induced by different races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL), being one of the most destructive and challenging to manage. This study aimed to assess the efficacy of eleven microbiological products for the *in vitro* control of the three FOL races. To this end, the products were incorporated into a potato dextrose agar culture medium. The bioassays revealed that the products exhibiting the highest inhibitory effects against all three races contained *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. methylotrophicus*, and *Bradyrhizobium elkanii*. In contrast, formulations containing *B. subtilis* + *B. licheniformis*, *B. megaterium*, and *Lactobacillus casei* + *L. acidophilus* + *Saccharomyces cerevisiae* demonstrated race-specific inhibition. These findings provide valuable insights into the *in vitro* antagonistic potential of microbiological products against FOL races. The most promising formulations will be further evaluated in assays for the suppression of *Fusarium* wilt.

keywords: beneficial bacteria; biological control; *Fusarium* wilt; soil-borne fungi; tomato diseases.

INTRODUCTION

The cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) originated from an ancestral form that was confined to the Peru-Ecuador region (Jenkins, 1948). However, its cultivation is now widespread across all continents (Rezk *et al.*, 2021). The tomato plant belongs to the *Solanaceae* family and plays a crucial role in the human diet, offering various health benefits, including anticancer properties and protection against cardiovascular diseases, neurodegenerative disorders, and diabetes, among others (Collins *et al.*, 2022).

According to the latest FAO survey (2023), Brazil ranks eighth among the world's top ten tomato-producing countries. Data from IBGE (2024) indicate a production of 4.7 million tons in 2024, representing a 19.2% increase compared to 2023. Goiás is the leading tomato-producing state in Brazil, accounting for 1.5 million tons, or 31.4% of the national total.

Despite Brazil's global prominence in tomato production and Goiás' leadership at the national level, tomato farming in the country is significantly affected by various biotic and abiotic diseases. Among the biotic diseases, *Fusarium* wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL), stands out. The disease is considered one of the most devastating, with literature reporting field and greenhouse losses of up to 90% (Dordevic *et al.*, 2012). *Fusarium* is a soil-borne pathogen that can persist in plant debris and through resistance structures, such as chlamydospores, and can also be disseminated via seeds (Ajmal *et al.*, 2022). Its effects are most apparent during the flowering and fruiting stages when the xylem vessels have already been colonized by the pathogen. This results in the disruption of water and nutrient transport, necrosis and discoloration of vascular tissue, leaf yellowing, wilting, and plant death (Srinivas *et al.*, 2019). FOL is classified into three physiological races (1, 2, and 3), which are distinguished by their specific pathogenicity in tomato cultivars carrying dominant resistance genes (Gonzalez-Cendales *et al.*, 2016).

In the management of tomato *Fusarium* wilt, the use of resistant cultivars is the primary strategy. However, studies indicate that failures in disease control are often due to the widespread use of cultivars with incomplete resistance to all three races (Oliveira *et al.*, 2023). Additional measures that can be incorporated into the integrated management of the FOL × tomato pathosystem include

crop rotation with non-solanaceous plants (non-host), chemical fungicides, and biological control (Karthika *et al.*, 2020; Haque *et al.*, 2023).

Biological control of plant diseases can be defined as the reduction of pathogen activity by other organisms (Cook; Baker, 1983). Biological control agents (BCAs) for plant diseases, typically fungi and bacteria, target specific groups of pathogens and therefore have fewer negative impacts compared to synthetic chemicals (He *et al.*, 2021). The biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) has primarily been studied and implemented using fungi, such as *Penicillium* and *Aspergillus* (Cal *et al.*, 1995), and *Trichoderma* (Jamil *et al.*, 2020; Haque *et al.*, 2023), as well as certain bacterial genera like *Pseudomonas* (Asha *et al.*, 2011), *Streptomyces*, and *Bacillus* (Rocha; Moura, 2013; Abdallah *et al.*, 2016; Jangir *et al.*, 2018; Khalil *et al.*, 2021; Rafanomezantsoa *et al.*, 2022; Devi *et al.*, 2022; Viana *et al.*, 2024), although few studies have been conducted in Brazil. Given the limited research on bacterial antagonism to FOL in Brazil, this study aimed to evaluate the *in vitro* inhibitory potential of eleven products containing beneficial bacteria against strains of the three physiological races of this phytopathogen.

MATERIALS E METHODS

In vitro antagonism was evaluated by incorporating products into potato dextrose agar culture medium. For this purpose, 120 mL of culture medium was prepared for each treatment, and the microbial products were added to achieve a final concentration of 1×10^7 cfu mL⁻¹ at a temperature of 48°C, to prevent the death of the microorganisms. After incorporating the products, the media were poured into plastic Petri dishes, and 0.5 µL of a suspension containing 1×10^7 conidia mL⁻¹ of the three phytopathogenic fungal strains was pipetted into the center of each dish, corresponding to the respective treatments. The fungal suspensions were adjusted using a Neubauer chamber.

Eleven microbiological products or inoculants, primarily based on beneficial bacteria, were used and are described in Table 1. The phytopathogens strains belong to the working collection of the Phytopathology Research Center (NPF), College of Agronomy, Federal University of Goiás, Samambaia *Campus*,

with each strain representing a distinct race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Table 1).

Table 1. Description of the products and phytopathogens used in the present in vitro antagonism study.

Code	Class	Active ingredient
P1	N*	<i>Bacillus subtilis</i>
P2	N	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
P3	N	<i>Bacillus subtilis</i> and <i>B. licheniformis</i>
P4	F/N	<i>Bacillus velezensis</i>
P5	N	<i>Bacillus methylotrophicus</i>
P6	I	<i>Bacillus aryabhattai</i>
P7	F	<i>Bacillus pumilus</i>
P8	I	<i>Lactobacillus casei</i> , <i>L. acidophilus</i> and <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
P9	I	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
P10	I	<i>Bacillus megaterium</i>
P11	I	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>
FOL1	NA	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 1
FOL2	NA	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 2
FOL3	NA	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 3

*N – Bionematicide, F – Biofungicide, I – Inoculant, NA – Not applicable

The evaluations were conducted when the control treatment plates, containing only the phytopathogens, had fully colonized the surface of the culture medium. At this point, the diameter of the mycelial growth was measured in centimeters using a millimeter ruler. The growth data was then used to calculate the mycelial growth inhibition index (%), employing the equation $MGI = [(C - T) / C] \times 100$, where: C represents the growth in the control treatment (containing only the fungi), and T represents the mycelial growth in the treatments with the antagonistic bacteria.

The mycelial growth data, in centimeters, were analyzed using the Silhouette method. Introduced by Rousseeuw (1987), this technique is based on calculating the silhouette width for each sample, the mean width of each group, the global mean, and the overall mean for the entire data set. As a nonparametric method, it is applicable to data that do not meet the assumptions of normality. This approach allows each group to be represented by its corresponding silhouette, derived from the comparison between intra-group cohesion and inter-group separation. The mean silhouette width is then used

to validate the clustering results and determine the optimal number of groups. The construction of the silhouette $S(i)$ is given by: $S(i) = (b(i) - a(i)) / \max\{a(i), b(i)\}$, where $a(i)$ is the mean dissimilarity of object i in relation to all other objects within the same group, and $b(i)$ is the minimum mean dissimilarity of object i in relation to all other groups (i.e., the closest group). Following this formula, $-1 \leq S(i) \leq 1$. A silhouette value close to 1 indicates that the sample is well-clustered and assigned to the appropriate group. A value close to zero suggests that the sample could be assigned to a different group, as it is equally distant from both groups. A silhouette value of -1 indicates that the sample has been misclassified. The mean of the silhouette across all objects is simply the average of $S(i)$. Statistical analyses were performed using R software (R Core Team, 2023).

To analyze the effect of the 11 products on the growth of the three races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, a heatmap visualization was constructed using the R programming language. The mycelial growth inhibition data were first organized into a matrix containing the mean inhibition rates for each product-race combination. Hierarchical clustering was then performed using Euclidean distance to identify similarity patterns between products and races based on inhibition rates.

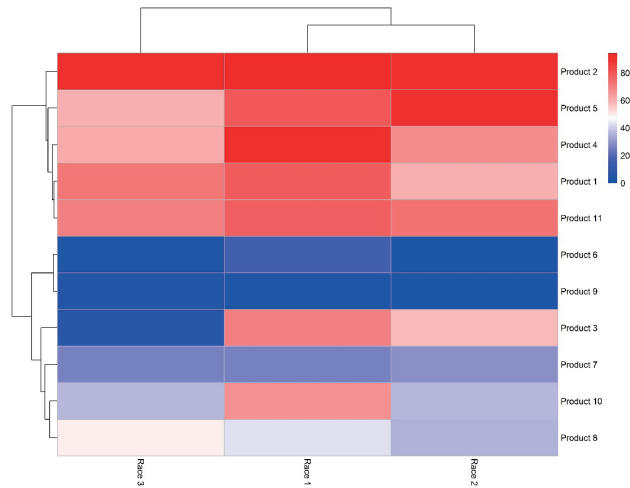
RESULTS

Based on the bioassays conducted to evaluate the antagonistic activity of microorganisms from microbiological products against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races, the following mycelial growth inhibition percentages (MGI) were observed:

- For race 1, the inhibition of mycelial growth was as follows: 79.09% (P1), 94.24% (P2), 70.3% (P3), 91.52% (P4), 79.39% (P5), 16.67% (P6), 25.76% (P7), 42.42% (P8), 2.12% (P9), 66.36% (P10), and 77.88% (P11).
- For race 2, the mycelial growth inhibition (MGI) was recorded at: 60.3% (P1), 90.91% (P2), 57.58% (P3), 67.58% (P4), 90.61% (P5), 0% (P6), 27.64% (P7), 33.64% (P8), 0% (P9), 33.09% (P10), and 72.73% (P11).
- For race 3, the inhibition of mycelial growth was as follows: 72.12% (P1), 91.52% (P2), 6.97% (P3), 60.91% (P4), 60% (P5), 3.33% (P6), 23.36% (P7), 49.39% (P8), 5.15% (P9), 36.67% (P10), and 70% (P11).

The heatmap (Figure 1), showing the average inhibition index for different products and fungal races, provides valuable information about the performance of each product. Each row represents a product, while each column represents a fungal race. The color scale ranges from blue (low inhibition) to red (high inhibition), with the intensity of the color reflecting the level of inhibition on fungal growth. Products that cluster together show comparable inhibition patterns. Notably, Products 1 (*B. subtilis*), 2 (*B. amyloliquefaciens*), 4 (*B. velezensis*), 5 (*B. methylotrophicus*), and 11 (*Bradyrhizobium elkanii*) display various shades of red, indicating high inhibition. On the other hand, most of the other products show different shades of blue, except for Product 3 (*B. subtilis* and *B. licheniformis*) for races 1 and 2, Product 10 (*B. megaterium*) for race 1, and Product 8 (*Lactobacillus casei*, *L. acidophilus*, and *Saccharomyces cerevisiae*) for race 3. Although the heatmap clustering is not a formal statistical analysis, it already provides an initial indication that some products may have race-specific antagonistic effects.

Figure 1. Heatmap showing the relationship between mycelial growth inhibition index (MGI) of three races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* challenged with eleven microbiological products.



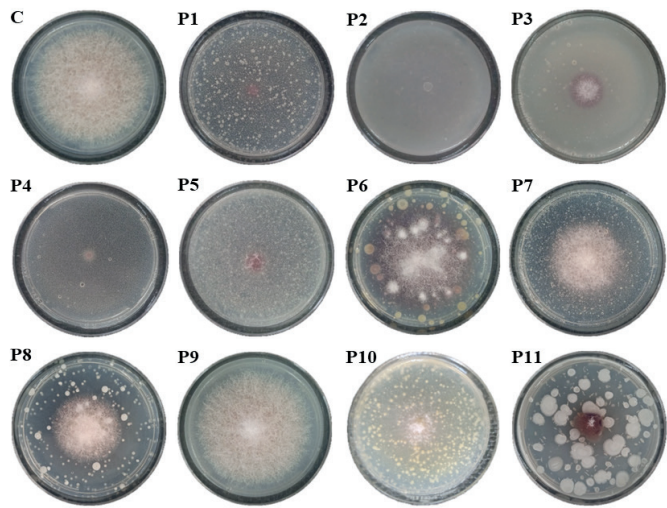
Now, statistically analyzing the mycelial growth (in cm) using the silhouette method for *FOL1* (Table 2), it was possible to observe the formation of three growth groups. Group 1 included products 1, 2, 3, 4, 5, 10, and 11, showing lower growth (i.e., greater inhibition) and good silhouette support (0.72). Group 2 consisted of products 7 and 8, while Group 3 included the remaining products. The average silhouette score was 0.61.

Table 2. Statistical analysis, using the silhouette method, of the mycelial growth (MG) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in a bioassay with eleven microbiological products.

Code	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 1 (FOL1)			
	Active ingredient	Group	MG (0.61) ^a	Silhouette Validation
P1	<i>Bacillus subtilis</i>	1	1.15 ± 0.37 ^b	0.72
P2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1	0.32 ± 0.35	0.72
P3	<i>Bacillus subtilis</i> and <i>B. licheniformis</i>	1	1.63 ± 0.25	0.72
P4	<i>Bacillus velezensis</i>	1	0.47 ± 0.12	0.72
P5	<i>Bacillus methylotrophicus</i>	1	1.13 ± 0.14	0.72
P6	<i>Bacillus aryabhatai</i>	3	4.58 ± 0.48	0.52
P7	<i>Bacillus pumilus</i>	2	4.08 ± 0.46	0.34
P8	<i>Lactobacillus</i> spp. and <i>S. cerevisiae</i>	2	3.17 ± 0.37	0.34
P9	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	3	5.38 ± 0.18	0.52
P10	<i>Bacillus megaterium</i>	1	1.22 ± 0.38	0.72
P11	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	1	1.85 ± 0.18	0.72
Control	Only the phytopathogen	3	5.50 ± 0.00	0.52

^a Mean silhouette, ^b Standard deviation

Figure 2. Board displaying the mycelial growth of race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL1) subjected to eleven microbiological products. “C” represents the control treatment with only the fungus, while “P1” to “P11” correspond to the tested products.



Regarding the bioassay with FOL2 (Table 3), it was also possible to observe the formation of three growth groups. Group 1 included products 1, 2, 3, 4, 5, and 11, with lower growth and good silhouette support (0.55). Group 2

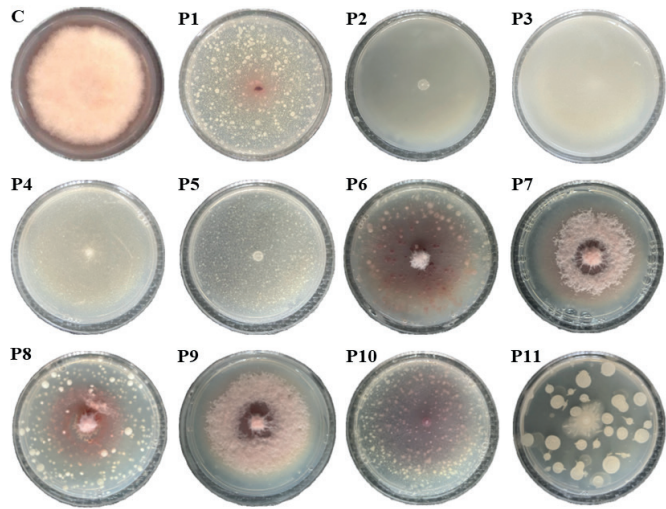
included P7, 9, and 10, while the remaining products were placed in group 3. The average silhouette score was 0.74.

Table 3. Statistical analysis, by the silhouette method, of the mycelial growth (MG) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in a bioassay with eleven microbiological products.

Code	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 2 (FOL2)			
	Active ingredient	Group	MG (0.74) ^a	Silhouette Validation
P1	<i>Bacillus subtilis</i>	1	2.18 ± 0.42 ^b	0.55
P2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1	0.50 ± 0.23	0.55
P3	<i>Bacillus subtilis</i> and <i>B. licheniformis</i>	1	2.33 ± 1.32	0.55
P4	<i>Bacillus velezensis</i>	1	1.78 ± 0.31	0.55
P5	<i>Bacillus methylotrophicus</i>	1	0.52 ± 0.12	0.55
P6	<i>Bacillus aryabhatai</i>	3	5.50 ± 0.00	1.00
P7	<i>Bacillus pumilus</i>	2	3.98 ± 0.64	0.87
P8	<i>Lactobacillus</i> spp. <i>S. cerevisiae</i>	3	3.65 ± 0.30	0.87
P9	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	2	5.50 ± 0.00	1.00
P10	<i>Bacillus megaterium</i>	2	3.68 ± 0.89	0.87
P11	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	1	1.50 ± 0.64	0.55
Control	Only the phytopathogen	3	5.50 ± 0.00	1.00

^a Mean silhouette, ^b Standard deviation

Figure 3. Board displaying the mycelial growth of race 2 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL2) subjected to eleven microbiological products. "C" represents the control treatment with only the fungus, while "P1" to "P11" correspond to the tested products.



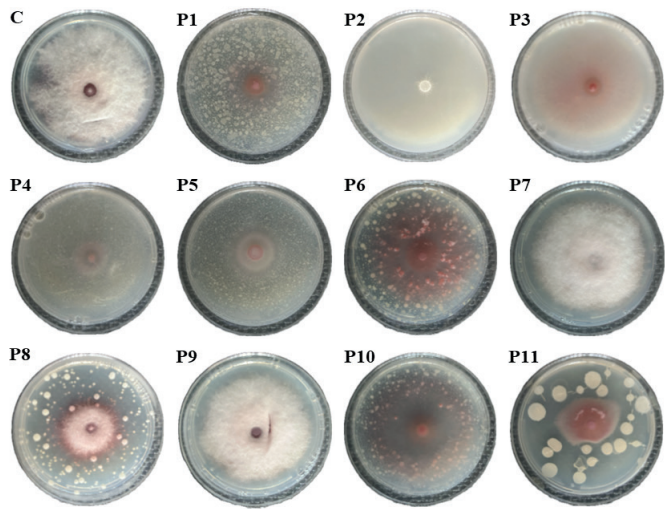
Analysis using the silhouette method of the bioassay with *FOL3* showed that group 1, with lower growth, was formed by P1, 2, 4, 5 and 11, group 2 by P7, 8 and 10 and group 3 by the other treatments. The average silhouette score was 0.61.

Tabela 4. Statistical analysis, by the silhouette method, of the mycelial growth (MG) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in a bioassay with eleven microbiological products.

Code	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> Race 3 (<i>FOL3</i>)			
	Active ingredient	Group	MG (0.61) ^a	Silhouette Validation
P1	<i>Bacillus subtilis</i>	1	1.53 ± 0.65b	0.54
P2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1	0.47 ± 0.14	0.54
P3	<i>Bacillus subtilis</i> and <i>B. licheniformis</i>	3	5.12 ± 0.94	0.89
P4	<i>Bacillus velezensis</i>	1	2.15 ± 0.78	0.54
P5	<i>Bacillus methylophilus</i>	1	2.20 ± 0.11	0.54
P6	<i>Bacillus aryabhattai</i>	3	5.32 ± 0.20	0.89
P7	<i>Bacillus pumilus</i>	2	4.05 ± 1.29	0.36
P8	<i>Lactobacillus</i> spp. e <i>S. cerevisae</i>	2	2.78 ± 0.37	0.36
P9	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	3	5.22 ± 0.47	0.89
P10	<i>Bacillus megaterium</i>	2	3.48 ± 1.73	0.36
P11	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	1	1.65 ± 0.42	0.54
Control	Only the phytopathogen	3	5.50 ± 0.00	0.89

^a Mean silhouette, ^b Standard deviation

Figure 4. Board displaying the mycelial growth of race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (*FOL3*) subjected to eleven microbiological products. "C" represents the control treatment with only the fungus, while "P1" to "P11" correspond to the tested products.



DISCUSSION

Fusarium wilt is one of the most destructive diseases of tomato crops (Dordevic *et al.*, 2012), as its control is hindered by the pathogen's survival in crop residues and its resistance structures (Ajmal *et al.*, 2022), in addition to the presence of physiological races (Gonzalez-Cendales *et al.*, 2016). The primary strategy for controlling wilt is the use of resistant cultivars; however, a lack of understanding of the fungal race and the use of cultivars with incomplete resistance may lead to control failure (Oliveira *et al.*, 2023). A useful tool in integrated management is biological control, which employs beneficial microorganisms to suppress plant pathogens (Cook; Baker, 1983; Karthika *et al.*, 2020; Haque *et al.*, 2023).

The present study demonstrated that microbiological products were effective in the *in vitro* antagonism of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) races, particularly those based on *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. methylotrophicus*, and *Bradyrhizobium elkanii*. Several biological control agents (BCAs) have been identified as potential antagonists of FOL, including *Penicillium* and *Aspergillus* (Cal *et al.*, 1995) and *Trichoderma* (Jamil *et al.*, 2020; Haque *et al.*, 2023), as well as bacterial genera such as *Pseudomonas* (Asha *et al.*, 2011) and *Streptomyces* (Rocha; Moura, 2013). However, bacteria of the genus *Bacillus* stand out as the primary BCAs, supporting the findings of our study. Here, we observed inhibition levels of up to 94.24%. Abdallah *et al.* (2016) reported a 42.1% inhibition of FOL by *B. cereus* S42. According to Shahzad *et al.* (2017), the *B. amyloliquefaciens* RWL-1 strain inhibited the growth of *F. oxysporum* by 79.19%, a slightly lower result compared to the present study, which ranged from 90.91% to 94.24%. Jangir *et al.* (2018) reported inhibition rates between 79.37% and 87.5% for *Bacillus* sp. Similarly, Khalil *et al.* (2021) demonstrated that a strain of *B. siamensis* inhibited the growth of FOL3 by 47.39%. Strains of *B. halotolerans* and *B. cereus* led to up to 61.36% inhibition of this phytopathogenic fungus (Rafanomezantsoa *et al.*, 2022). *B. velezensis* inhibited FOL growth by 58.43% (Devi *et al.*, 2022), a slightly lower result than those in our study, which ranged from 60.91% to 91.52%. Consistent with our findings, Jemil *et al.* (2024) also identified *B. methylotrophicus* (DCS1) as a promising biocontrol agent against FOL.

Finally, an interesting observation is that among the formulated products that stood out in this study, only the one based on *B. methylotrophicus* belongs to the fungicide/nematicide class. Additionally, the product based on *Bradyrhizobium elkanii* is an inoculant, meaning it is a nitrogen-fixing bacterium. Supporting our findings, *B. elkanii* strains SEMIA 5019 and SEMIA 587 have also been described as antagonists of plant pathogenic fungi (Russiano *et al.*, 2013). Another noteworthy point is that the products formulated with *B. subtilis* + *B. licheniformis*, *B. megaterium*, and *Lactobacillus casei* + *L. acidophilus* + *Saccharomyces cerevisiae* exhibited race-specific inhibition of *FOL*, showing greater antagonistic effects against certain races. Similarly, other BCAs, such as *Trichoderma afroharzianum*, have also been found to be pathogen-specific (Marques *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2024), reinforcing the idea that the selection and application of biocontrol agents should be tailored to the specific biological target rather than broadly applied to multiple phytopathogens.

It is concluded that products based on *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. methylotrophicus*, and *Bradyrhizobium elkanii* show promise for managing races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and will be further evaluated in *in vivo* trials for their potential to suppress tomato wilt.

REFERENCES

- ABDALLAH, R. A. B. *et al.* Biocontrol of *Fusarium* wilt and growth promotion of tomato plants using endophytic bacteria isolated from *Nicotiana glauca* organs. **Biological Control**, v. 97, p. 80-88, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.03.005>
- AJMAL, M. *et al.* 2022. Strategies for controlling the sporulation in *Fusarium* spp. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.3390/jof9010010>
- ASHA, B. B. *et al.* Selection of effective bio - antagonistic bacteria for biological control of tomato wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **The Bioscan** v. 6, n. 1, p. 239-244, 2011. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=df7e989c7cedf420544846e78c69d7d402ecba36>
- CAL, A. *et al.* Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Plant Pathology**, v. 44, n. 5, p. 909-917, 1995. <https://10.1111/j.1365-3059.1995.tb02750.x>
- COLLINS, E. J. *et al.* Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. **Biology**, v. 11, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11020239>
- COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 1983. 539p.

DEVI, N. O. *et al.* Effect of endophytic *Bacillus* and arbuscular mycorrhiza fungi (AMF) against *Fusarium* wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 32, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00499-y>

DORDEVIC M, *et al.* Reaction of different tomato cultivars toward race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Genetika**, v. 44, p. 109-118, 2012.

FAO. **Crops and livestock products**. 2023. Available at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>

GONZALEZ-CENDALES, Y. *et al.* Identification of I-7 expands the repertoire of genes for resistance to *Fusarium* wilt in tomato to three resistance gene classes. **Molecular Plant Pathology**, v. 17, p. 448-463, 2016.

HAQUE, Z.; PANDEY, K.; ZAMIR, S. Bio-management of *Fusarium* wilt of tomato (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*) with multifacial *Trichoderma* species. **Discover Agriculture**, v. 1, n. 7, 2023. <https://doi.org/10.1007/s44279-023-00007-w>

HE, D. C. *et al.* Biological control of plant diseases: an evolutionary and eco-economic consideration. **Pathogens**, v. 10, n.10, 2021. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101311>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**, 2024. Available at: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/42a86ef6d8cbdb0a25e13cdc830799e6.pdf

JAMIL, A.; MUSHEER, N.; KUMAR, M. Evaluation of biocontrol agents for management of wilt disease of tomato incited by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 54, n. 19-20, p. 1722-1737, 2021. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1938353>

JANGIR, M. *et al.* Biocontrol mechanisms of *Bacillus* sp., isolated from tomato rhizosphere, against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Biological Control**, v. 123, p. 60-70, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.018>

JEMIL, N. *et al.* *Bacillus methylotrophicus* DCS1: Production of different lipopeptide families, in vitro antifungal activity and suppression of *Fusarium* wilt in tomato plants. **Current Microbiology**, v. 81, n. 6, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00284-024-03660-6>

JENKINS, J. A. The origin of the cultivated tomato. **Economic Botany**, v. 2, p. 379-392, 1948. <https://doi.org/10.1007/BF02859492>

KARTHIKA, S.; VARGHESE, S.; JISHA, M. S. Exploring the efficacy of antagonistic rhizobacteria as native biocontrol agents against tomato plant diseases. **3 Biotech**, v. 10, n. 7, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02306-1>

KHALIL, M. M. R. *et al.* Rhizospheric bacteria as potential biocontrol agents against *Fusarium* wilt and crown and root rot diseases in tomato. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 12, p. 7460-7471, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.043>

MARQUES, E. *et al.* Antagonism and molecular identification of *Trichoderma* isolated from rhizosphere of medicinal plants. **Journal of Biological Control**, v. 36, n. 1, p. 07-16, 2022. <https://doi.org/10.18311/jbc/2022/30065>

OLIVEIRA, C. M. *et al.* Control failures of *Fusarium* wilt on tomatoes and resistance of cultivars to the three races of the pathogen. **Revista Ceres**, v. 70, n. 4, p. 82-90, 2023. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202370040011>

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2023. <https://www.R-project.org/>

RAFANOMEZANTSOA, P. *et al.*, Antifungal activity of *Bacillus* spp. against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* and *Ascochyta* sp. **Journal of Plant Protection Research**, v. 62, n. 3, p. 247-257, 2022. <https://doi.org/10.24425/jppr.2022.142131>

REZK, A.; ABHARY, M.; AKHKHA, A. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding strategies for biotic and abiotic stresses. In: AL-KHAYRI, J. M.; JAIN, S. M.; JOHNSON, D. V. (Eds). **Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops**. Springer, p. 363-405, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66961-4_10

ROCHA, D. J. A.; MOURA, A. B. Controle biológico da murcha do tomateiro causada por *Ralstonia solanacearum* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* por rizobactérias. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 5, p. 423-430, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762013005000025>

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53-65, 1987. [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)

RUSSIANO, M. C. S. *et al.* Strains of *Bradyrhizobium* spp. in the biological control of phytopathogens in the soybean. **Revista Ciência Agronômica**, v. 55, 2024. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20240046>

SHAHZAD, R. *et al.* Plant growth-promoting endophytic bacteria versus pathogenic infections: an example of *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. **PeerJ**, v. 5, 2017. <https://doi.org/10.7717/peerj.3107>

SILVA, M. R.; MARQUES, E.; CUNHA, M. G. Antagonistic and molecular characterization of endophytic *Trichoderma* from sugarcane. **Biologia**, v. 79, n. 11, p. 3419-3432, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11756-024-01777-4>

SRINIVAS, C. *et al.* *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity – A review. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p.1315-1324, 2019.

VIANA, G. C. *et al.* *Bacillus* endophytic strains control *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato cv. Perinha. **Brazilian journal of microbiology**, v. 55, n. 4, p. 4019-4034, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01539-z>

MANEJO E TRATAMENTO DA DOR ONCOLÓGICA EM CÃES E GATOS

Carlos Eduardo de Siqueira
Universidade de Marília (UNIMAR)

Laura Beatriz Sabino
Universidade de Marília (UNIMAR)

Paulo Sérgio Patto dos Santos
Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

RESUMO

Esta revisão de literatura visa aprimorar a abordagem clínica do médico veterinário frente à dor oncológica em cães e gatos, destacando estratégias eficazes de controle. A dor oncológica é comum durante a progressão das neoplasias e seu manejo adequado é essencial não apenas do ponto de vista fisiológico e biológico, mas também ético, promovendo qualidade de vida ao paciente. Para isso, é fundamental que o veterinário identifique corretamente o tipo de dor, sua localização, o estado clínico do animal, a fase do tratamento e os riscos envolvidos. O tratamento envolve uma ampla gama de fármacos, como anti-inflamatórios não esteroidais, opioides e adjuvantes (antidepressivos tricíclicos, corticosteroides, anticonvulsivantes, anestésicos locais e antagonistas NMDA). Além disso, terapias alternativas como acupuntura, radioterapia, uso de nutracêuticos e toxina botulínica vêm sendo exploradas como opções complementares. Em casos de dor refratária, recomenda-se a associação de terapias, e, quando não há melhora, a eutanásia pode ser considerada como último recurso para cessar o sofrimento. Assim, a avaliação contínua do paciente e da eficácia analgésica é indispensável, com foco na manutenção do bem-estar do animal oncológico.

Palavras-chave: analgesia; nocicepção; neoplasia; terapia.

INTRODUÇÃO

O câncer é uma das principais causas de morte em animais domésticos (LESTER; GAYNOR, 2000). Os avanços na prevenção de doenças e a melhora na alimentação desses animais aumentam a idade média desses pacientes, levando a uma maior prevalência de câncer em cães e gatos.

A verdadeira prevalência da dor em cães e gatos com câncer não é conhecida; entretanto, considerando-se a biologia compartilhada do câncer entre animais de companhia e seres humanos (BREEN; MODIANO, 2008; PAOLONI; KHANNA, 2008), é possível que a incidência de dor relacionada a neoplasias seja compatível nessas duas populações. A dor é um sinal comum em pacientes humanos com câncer. Com base em estudos epidemiológicos, a incidência de dor relacionada ao câncer por ocasião do diagnóstico inicial aproxima-se de 30% e, com a progressão da doença, até 65 a 85% dos pacientes humanos com câncer irão sentir dor em algum momento (CLEARY; CARBONE, 1995; SYKES, 1987).

Apesar da evolução da oncologia veterinária nas últimas décadas, sabe-se que aproximadamente metade dos pacientes oncológicos acabará vindo a óbito, e a maior parte necessitará de terapia para controle dos sinais clínicos e da dor (GARCIA *et al.*, 2009).

A dor é uma condição clinicamente importante, que resulta em sofrimento e afeta a qualidade de vida dos animais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1986; ROBERTSON, 2002). Assim, a dor oncológica afeta negativamente a qualidade de vida e funções fisiológicas importantes, sendo o seu alívio uma prioridade clínica. Em pacientes com a doença em grau avançado, os cuidados e o manejo da dor acabam sendo mais paliativos do que curativos. Por meio de programas de cuidados paliativos, é possível prolongar a vida e manter ou restabelecer a qualidade de vida (BATEMAN *et al.*, 1994).

Além da consideração ética da supressão da dor, os benefícios do uso de analgésicos são comprovados: reduzem o estresse emocional, evitam a liberação de substâncias deletérias para o organismo e facilitam a recuperação do paciente, diminuindo a mortalidade e a morbidade (ANDRADE, 2002). Segundo Biebuyck (1990), a dor tratada incorretamente pode produzir efeitos negativos nos sistemas cardiovascular, respiratório, gastrointestinal, neuroendócrino e imune.

Por fim, para a instituição do tratamento adequado, é necessário identificar o tipo de dor, sua localização exata, o estado físico do paciente, a fase do tratamento, as limitações e os riscos dos procedimentos (YAZBEK, 2008).

As obrigações do veterinário para promover o conforto ganham importância extraordinária em animais em fase terminal. Deve haver boa interação entre tutor e veterinário para que o controle da dor seja efetivo, pois o tutor conhece o comportamento do paciente no dia a dia. Quando os esforços para aliviar o desconforto do animal não são suficientes, frequentemente surge a decisão pela eutanásia (McMILLAN, 1998). A razão para se escolher essa opção é eliminar o desconforto pelo único meio efetivo que resta.

Esta revisão de literatura tem como objetivo proporcionar ao médico veterinário uma melhor abordagem clínica do paciente canino e felino com dor oncológica, além de demonstrar os possíveis tratamentos para controle da dor em decorrência de neoplasias, devido à sua alta incidência nessas espécies animais.

DESENVOLVIMENTO

Definição de dor

A Associação Internacional para o Estudo da Dor (International Association for the Study of Pain – IASP, 2020) define dor como “uma experiência sensorial e emocional desagradável associada ou semelhante a decorrência ao dano real ou potencial ao tecido”.

Já o *American Heritage Dictionary* (2000) descreve dor como uma sensação desagradável que surge a partir de injúrias, doenças ou distúrbios emocionais. Essa percepção não se limita ao estímulo neuronal propriamente dito, mas envolve também a interpretação desse estímulo com base em experiências prévias e no estado mental atual do indivíduo (JOHNSTON, 2004).

Kitchell (1987) oferece outra definição: “A dor em animais é uma experiência emocional e sensorial aversiva (uma percepção), que provoca ações motoras protetoras, resulta em abstinência aprendida e pode modificar características da espécie, inclusive o comportamento social”. A IASP (2020) ainda ressalta que a incapacidade de comunicação verbal não exclui a possibilidade de que um indivíduo esteja sentindo dor e necessite de tratamento para seu alívio. A dor

é, portanto, sempre subjetiva, sendo seu significado aprendido individualmente ao longo da vida, a partir de experiências ligadas a lesões.

A dor oncológica, quanto à sua duração e início, pode ser classificada como aguda ou crônica. A dor aguda é caracterizada por sinais clínicos como vocalização, inapetência, alterações no padrão de sono, claudicação e manifestações de hiperatividade simpática, como taquicardia e taquipneia (LESTER; GAYNOR, 2000). Já a dor crônica, segundo Hardie (2004), é aquela com duração superior a três meses. Pode ter início agudo, mas é perpetuada por fatores adicionais à causa inicial (ASHBURN; STAATS, 1999). Em muitos casos, sinais clínicos específicos de dor crônica deixam de estar presentes devido à adaptação do sistema nervoso (LESTER; GAYNOR, 2000).

A dor crônica tende a ser contínua ou intermitente, podendo persistir por meses ou até anos, estando frequentemente associada a processos patológicos de longa duração, como as neoplasias (ROBERTSON, 2002).

Fisiologia da dor

O conhecimento aprofundado da fisiologia da dor é crucial para a aplicação de estratégias terapêuticas eficazes em seu manejo. A via nociceptiva é composta por nociceptores periféricos, fibras nervosas aferentes, a medula espinhal, estruturas do tronco encefálico, vias espinhais ascendentes e áreas de processamento central, como o tálamo e o córtex cerebral (LORENZ; KORNEGAY, 2006).

A dor é iniciada pela ativação dos nociceptores, que são terminações nervosas livres localizadas em praticamente todos os tecidos do corpo. Esses nociceptores transmitem os sinais de dor ao sistema nervoso central, começando pelo envio dos impulsos pelas fibras nervosas aferentes primárias (DWORKIN *et al.*, 2003).

Existem dois tipos principais de fibras nervosas envolvidas na condução da dor: as fibras C, que não são mielinizadas, e as fibras A-δ, que são mielinizadas. As fibras C conduzem impulsos de forma lenta, respondendo a estímulos de diversas naturezas e intensidades, sendo associadas à dor crônica, difusa e contínua. Além disso, elas promovem a liberação de mediadores inflamatórios e neurotransmissores no corno dorsal da medula espinhal, contribuindo

para a sensibilização central, um fenômeno que amplifica a percepção da dor, aumentando a sua intensidade e a resposta do sistema nervoso (ANTUNES *et al.*, 2008). Por outro lado, as fibras A- δ conduzem impulsos de forma mais rápida e são responsáveis pela sensação inicial de dor aguda e bem localizada.

A modulação da atividade nociceptiva também depende da ação de substâncias algogênicas, que são substâncias químicas presentes nos tecidos lesados. Essas substâncias são liberadas em resposta a processos inflamatórios, traumáticos ou isquêmicos e atuam diretamente sobre os receptores dos nociceptores, intensificando a dor. O processo resulta em hiperalgesia termomecânica (aumento da sensibilidade à dor provocada por estímulos térmicos e mecânicos) e vasodilatação, principalmente com ativação das fibras C (HELLYER *et al.*, 2014).

Em relação aos componentes centrais da dor, a experiência física da dor é transmitida pelas vias aferentes que se dirigem ao tálamo, que, por sua vez, envia sinais ao córtex cerebral. O córtex sensitivo primário é responsável por discriminar a localização e a intensidade do estímulo doloroso. Além disso, as vias aferentes que chegam ao sistema límbico estão associadas aos aspectos emocionais da dor, como angústia e sofrimento (HELLYER *et al.*, 2014). O córtex cerebral é o centro da experiência consciente da dor, sendo responsável por controlar e modular a sensação de dor. Em casos de lesões no sistema nervoso central (córtex ou subcórtex), a dor central pode ocorrer mesmo sem patologia detectável, podendo ser extremamente grave e difícil de tratar (McKUNE *et al.*, 2017).

Avaliação e reconhecimento da dor oncológica

O tratamento eficaz da dor em pacientes oncológicos depende, em grande parte, da identificação precoce e precisa da dor, uma vez que os animais não podem se comunicar verbalmente. Para o reconhecimento da dor, é essencial uma boa comunicação com o tutor do animal, que, por conhecer bem a personalidade de seu pet, consegue identificar mudanças sutis que indicam desconforto ou dor (McKUNE *et al.*, 2017). O comportamento do animal desempenha um papel fundamental, uma vez que animais com dor podem apresentar alterações no comportamento, como depressão, agressividade, dependência excessiva do tutor, ou, em alguns casos, se tornar agressivos. Em gatos, é comum a perda

do hábito de se lambem ou se esconder (MUIR III; GAYNOR, 2009; FANTONI; MASTROCINQUE, 2010).

Mudanças na postura também são comuns, com os animais frequentemente relutando em deitar ou se mover, a fim de proteger a área dolorida. Além disso, podem permanecer imóveis, a ponto de urinar ou defecar sem sair do local em que estão (MUIR III; GAYNOR, 2009; FANTONI; MASTROCINQUE, 2010). Nos cães, também são observadas alterações no comportamento social, alimentação, ingestão de água, vocalização, e até em comportamentos como auto-mutilação e submissão (MORTON; GRIFFITHS, 1985; TAYLOR, 1985; FLECKNELL, 1986). A dor também impacta na ingestão de alimentos e líquidos, o que pode levar a perda de peso, desidratação e caquexia (MUIR III; GAYNOR, 2009; FANTONI; MASTROCINQUE, 2010). A dor crônica e o estresse prolongado associam-se a uma diminuição na taxa de cura e afetam negativamente a saúde do paciente (GAYNOR, 2008).

A dor pode afetar o equilíbrio homeostático do organismo, alterando o eixo neuroendócrino, elevando os níveis de aldosterona, cortisol e catecolaminas, o que pode causar retenção de líquidos, aumento da pressão arterial e distúrbios metabólicos como hiperglicemia, imunossupressão, e diminuição da cicatrização tecidual. As catecolaminas também têm um papel importante nas alterações cardíacas, como arritmias e aumento da frequência cardíaca, além de afetarem a função gastrointestinal, prejudicando a motilidade intestinal e podendo causar distúrbios como constipação e sepse (PISERA, 2005; DUQUE; VALADÃO, 2008; MUIR III; GAYNOR, 2009; FANTONI; MASTROCINQUE, 2010).

Além disso, a dor pode desencadear alterações respiratórias como taquipneia, espasmos musculares e hipoventilação, o que compromete a ventilação e a perfusão, aumentando a dificuldade respiratória e piorando a condição geral do animal (PISERA, 2005; KLAUMANN; WOUK; SILLAS, 2008).

Métodos de avaliação

Para melhorar o reconhecimento da dor, várias escalas de dor foram desenvolvidas para facilitar a avaliação comportamental. No entanto, a maioria das escalas convencionais é mais aplicável à dor pós-operatória aguda ou à dor crônica por osteoartrite, sendo sua aplicabilidade na dor oncológica limitada

(McKUNE *et al.*, 2017). Entre as escalas mais comuns estão a Escala Analógica Visual (EAV) e a Escala Visual Numérica (EVN), ambas unidimensionais e simples de aplicar, onde o avaliador indica a intensidade da dor com base em uma linha ou número (LORENZ; KORNEGAY, 2006; McKUNE *et al.*, 2017).

Para superar as limitações dessas escalas, foram desenvolvidos esquemas de avaliação mais completos, como escalas comportamentais e questionários de qualidade de vida relacionados à dor no câncer (CARSTEN *et al.*, 2008; TZANNES *et al.*, 2008). Tais escalas são baseadas em parâmetros subjetivos (como atitudes, vocalização e postura) e objetivos (frequência cardíaca, respiratória, dilatação pupilar), somando esses parâmetros para determinar a intensidade da dor. Exemplos incluem a Colorado State University Veterinary Teaching Hospital Pain Score (Figura 1), a University of Melbourne Pain Scale (UMPS) e a Glasgow Scale (DUQUE; VALADÃO, 2008).

Um estudo conduzido por Yazbek (2008) validou uma escala de qualidade de vida (Figura 2) para cães com dor secundária a neoplasias, utilizando um questionário simples com 12 perguntas respondidas pelos tutores dos animais. Os resultados mostraram que o questionário foi útil para avaliar a dor em cães com câncer, sendo o escore de qualidade de vida significativamente mais baixo nos cães com neoplasia em comparação aos cães saudáveis e aos com doenças dermatológicas. Esses achados sugerem que a aplicação de questionários de qualidade de vida pode ser uma ferramenta útil na avaliação e manejo da dor em pacientes oncológicos.

Figura 1. Escala de dor canina.



Colorado State University
Veterinary Medical Center
Canine Acute Pain Scale

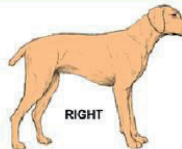
Date _____

Time _____

Rescore when awake

☐ Animal is sleeping, but can be aroused - Not evaluated for pain
☐ Animal can't be aroused, check vital signs, assess therapy

Pain Score	Example	Psychological & Behavioral	Response to Palpation	Body Tension
0		☐ Comfortable when resting ☐ Happy, content ☐ Not bothering wound or surgery site ☐ Interested in or curious about surroundings	☐ Nontender to palpation of wound or surgery site, or to palpation elsewhere	Minimal
1		☐ Content to slightly unsettled or restless ☐ Distracted easily by surroundings	☐ Reacts to palpation of wound, surgery site, or other body part by looking around, flinching, or whimpering	Mild
2		☐ Looks uncomfortable when resting ☐ May whimper or cry and may lick or rub wound or surgery site when unattended ☐ Droopy ears, worried facial expression (arched eye brows, darting eyes) ☐ Reluctant to respond when beckoned ☐ Not eager to interact with people or surroundings but will look around to see what is going on	☐ Flinches, whimpers cries, or guards/pulls away	Mild to Moderate Reassess analgesic plan
3		☐ Unsettled, crying, groaning, biting or chewing wound when unattended ☐ Guards or protects wound or surgery site by altering weight distribution (i.e., limping, shifting body position) ☐ May be unwilling to move all or part of body	☐ May be subtle (shifting eyes or increased respiratory rate) if dog is too painful to move or is stoic ☐ May be dramatic, such as a sharp cry, growl, bite or bite threat, and/or pulling away	Moderate Reassess analgesic plan
4		☐ Constantly groaning or screaming when unattended ☐ May bite or chew at wound, but unlikely to move ☐ Potentially unresponsive to surroundings ☐ Difficult to distract from pain	☐ Cries at non-painful palpation (may be experiencing allodynia, wind-up, or fearful that pain could be made worse) ☐ May react aggressively to palpation	Moderate to Severe May be rigid to avoid painful movement Reassess analgesic plan

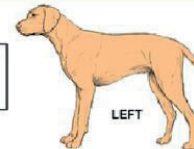


RIGHT

☐ Tender to palpation

☒ Warm

☒ Tense



LEFT

Comments _____

Fonte: Colorado State University Veterinary Teaching Hospital Pain Score.

Figura 2. Escala para avaliação da qualidade de vida validada para cães com dor secundária ao câncer.

1. Você acha que a doença atrapalha a vida do seu animal?
0.() muitíssimo 1.() muito 2.() um pouco 3.() nada
2. Seu animal continua fazendo as coisas que gosta (brincar, passear)?
0.() nunca mais fez 1.() raramente 2.() frequentemente 3.() normalmente
3. Como está o temperamento do seu cão?
0.() totalmente alterado 1.() alguns episódios de alteração
2.() mudou um pouco 3.() normal
4. O seu animal manteve os hábitos de higiene (lamber-se, p.ex.)?
0.() não 1.() raramente 2.() menos do que antes 3.() está normal
5. Você acha que seu animal sente dor?
0.() sempre 1.() frequentemente 2.() raramente 3.() nunca
6. O seu animal tem apetite?
0.() não 1.() só come forçado / só o que gosta 2.() pouco 3.() normal
7. O seu animal fica cansado facilmente?
0.() sempre 1.() frequentemente 2.() raramente 3.() está normal
8. Como está o sono do seu animal?
0.() muito ruim 1.() ruim 2.() bom 3.() normal
9. Seu animal tem vômitos?
0.() sempre 1.() frequentemente 2.() raramente 3.() não
10. Como está o intestino do seu animal?
0.() péssimo / funciona com dificuldade 1.() ruim 2.() quase normal 3.() normal
11. Seu animal é capaz de se posicionar sozinho para fazer xixi e coco?
0.() nunca mais conseguiu 1.() raramente consegue
2.() às vezes consegue 3.() consegue normalmente
12. Quanta atenção o animal está dando para a família?
0.() está indiferente 1.() pouca atenção
2.() aumentou muito (carência) 3.() não mudou / está normal

Fonte: Yazbek (2008).

Tipos de neoplasias associadas a dor

A dor associada ao câncer pode ter várias origens, sendo causada principalmente pela invasão direta das células tumorais em estruturas como nervos, ossos, tecidos moles, ligamentos e fáscia (LESTER; GAYNOR, 2000). Além disso, a infiltração tumoral pode causar distensão ou obstrução de órgãos internos, contribuindo para o surgimento da dor. Processos inflamatórios e erosivos provocados pelas células tumorais também desempenham papel importante no estímulo doloroso (McKUNE *et al.*, 2017). De acordo com o mecanismo envolvido, a dor oncológica pode ser classificada como nociceptiva (somática ou visceral), neuropática ou mista, sendo esta última a mais comum, já que os tumores podem invadir diferentes tecidos simultaneamente (YAZBEK, 2008).

A dor nociceptiva está relacionada ao dano tecidual direto e à inflamação ao redor do tumor. A dor somática, mais localizada e em forma de “punhalada”, resulta da invasão tumoral em ossos, tecidos moles ou tendões/ligamentos, sendo comum em casos de neoplasias ósseas, fraturas patológicas, pós-operatórios e tratamentos com quimioterapia (YAZBEK, 2008; RAUBER, 2011; McKUNE *et al.*, 2017). Já a dor visceral é causada por infiltração ou compressão de órgãos internos nas cavidades abdominal ou torácica, manifestando-se como dor difusa e compressiva, muitas vezes acompanhada de sintomas como náuseas e vômitos (McKUNE *et al.*, 2017; RAUBER, 2011).

A dor neuropática é provocada pela invasão de nervos periféricos, plexos, raízes nervosas ou medula espinal pelas células cancerosas. Essa dor é caracterizada por descargas anormais de impulsos nervosos e se apresenta como dor em queimação, formigamento, dormência ou dor fulgurante (DWORKIN *et al.*, 2003; McKUNE *et al.*, 2017).

A dor associada a tratamentos oncológicos pode surgir como efeito colateral de radioterapia, quimioterapia e cirurgia. A radioterapia, embora eficaz no controle tumoral, pode causar dor devido à inflamação ou queimaduras agudas em tecidos saudáveis irradiados, especialmente nos estágios finais do tratamento (NOLAN *et al.*, 2012; McKUNE *et al.*, 2017).

Já a quimioterapia pode provocar dor por diversos mecanismos, como extravasamento perivenoso de fármacos, alterações intestinais com dor visceral, formação de metabólitos irritantes (como na cistite estéril), e reações

inflamatórias sistêmicas induzidas por solventes ou baixo pH de certos agentes (VILLALOBOS, 2006; GAETA *et al.*, 2014; POIRIER *et al.*, 2004).

Procedimentos cirúrgicos, especialmente os mais invasivos, como amputações e grandes ressecções tumorais, causam dor nociceptiva aguda, exigindo estratégias analgésicas intensivas, como bloqueios regionais, opioides e analgesia preventiva (McKUNE *et al.*, 2017).

Em suma, a dor oncológica é multifatorial e pode surgir tanto pela progressão do tumor quanto pelos efeitos adversos dos tratamentos. O reconhecimento adequado dos diferentes tipos e mecanismos de dor é essencial para a escolha de estratégias analgésicas eficazes, garantindo maior conforto e qualidade de vida aos pacientes oncológicos.

Tratamento da dor oncológica

O manejo da dor oncológica baseia-se principalmente no uso de agentes farmacológicos, com o objetivo de minimizar os efeitos da sensibilização periférica e central de acordo com a intensidade dessa dor (Figura 3), preservando a qualidade de vida do paciente (McKune *et al.*, 2017). De acordo com Looney (2010), esse manejo ocorre em três etapas: (1) tratamento da neoplasia primária (cirurgia, quimioterapia ou radioterapia), (2) uso de métodos farmacológicos e não farmacológicos para modular a dor, e (3) cuidados paliativos visando à redução do sofrimento.

Figura 3. Escada analgésica da Organização Mundial da Saúde (OMS) com abordagem em três degraus para o manejo da dor.



Fonte: McKUNE *et al.*, 2017.

Os anti-inflamatórios não esteroidais (AINEs) são frequentemente utilizados para controle da dor leve a moderada, especialmente quando associada a estruturas viscerais, musculares, articulares ou tegumentares. Eles atuam inibindo a enzima ciclooxigenase-2 (COX-2), reduzindo a produção de prostaglandinas, como a PGE2, envolvidas na sensibilização nociceptiva (Neugebauer *et al.*, 1995; Gold *et al.*, 1996). Além de sua ação analgésica, alguns AINEs demonstram também propriedades antitumorais (Pisera, 2005; McKune *et al.*, 2017). A dipirona, embora não possua efeito anti-inflamatório significativo, é amplamente empregada no manejo da dor leve em pacientes oncológicos devido à sua eficácia analgésica e baixa incidência de efeitos adversos gastrointestinais e renais (Flôr, 2006).

Quando a dor se torna mais intensa ou refratária aos AINEs, recorre-se ao uso de opioides. Estes fármacos agem predominantemente no sistema nervoso central, inibindo a liberação de neurotransmissores excitatórios como glutamato e substância P, responsáveis pela transmissão dos estímulos dolorosos (McKune *et al.*, 2017). Opioides fracos como codeína e tramadol podem ser utilizados em associação aos AINEs. O tramadol possui mecanismo de ação multifacetado, atuando na inibição da recaptação de serotonina e noradrenalina, e também modulando a atividade dos receptores NMDA (Flôr, 2006). No entanto, os opioides podem causar efeitos colaterais como vômitos, constipação intestinal e sedação (Pisera, 2005; Gaynor, 2008).

O envolvimento dos receptores NMDA na sensibilização central levou ao uso de seus antagonistas no controle da dor oncológica crônica. A cetamina e a amantadina são exemplos de agentes que bloqueiam esses receptores, reduzindo a hiperexcitabilidade neuronal na medula espinal e, consequentemente, a percepção da dor (McKune *et al.*, 2017; Lascelles *et al.*, 2008). Fármacos anticonvulsivantes como a gabapentina também têm sido empregados, principalmente na dor neuropática e em quadros de sensibilização central. A gabapentina age nos canais de cálcio pré-sinápticos, inibindo a liberação de neurotransmissores excitatórios, e promove inibição pós-sináptica pela ativação de canais de potássio e cloreto (McKune *et al.*, 2017). Estudos mostram sua boa tolerância em cães, embora sua eficácia em dor nociceptiva aguda ainda seja debatida (Wagner *et al.*, 2010; Aghighi *et al.*, 2012; Cashmore *et al.*, 2009).

Os antidepressivos tricíclicos, como a amitriptilina, clomipramina e fluoxetina, também são usados como coanalgésicos em dor crônica, especialmente

de origem neuropática. Eles agem inibindo a recaptação de serotonina e nora-drenalina, reforçando os mecanismos inibitórios descendentes da dor (Berger *et al.*, 2006; McKune *et al.*, 2017). Em determinadas situações, os corticoides são úteis por sua potente ação anti-inflamatória. Eles bloqueiam a via da fosfolipase A2 e são indicados especialmente em quadros de dor associada a edema, compressão nervosa ou infiltração tumoral (Yazbek & Martins, 2011; McKune *et al.*, 2017). Anestésicos locais também podem ser utilizados, principalmente em bloqueios perineurais, quando a dor é localizada e refratária. Lidocaína é um dos agentes mais usados nesse contexto, podendo ser combinada a opioides, alfa-2 agonistas ou cetamina para potencializar o efeito analgésico (Rauber, 2011).

Além das abordagens farmacológicas, terapias alternativas têm mostrado benefícios importantes como coadjuvantes no controle da dor oncológica. A acupuntura, por exemplo, estimula interneurônios inibitórios e a liberação de opiáceos endógenos, promovendo analgesia e permitindo a redução da dose de medicamentos convencionais. É especialmente útil em dores músculo-esqueléticas e desconfortos cutâneos decorrentes da radioterapia (Garcia *et al.*, 2009; Antunes *et al.*, 2008). A radioterapia, por sua vez, é eficaz no controle da dor osteolítica, reduzindo a carga tumoral e a reabsorção óssea por inibição da atividade osteoclástica (Goblirsch *et al.*, 2004). Em cães com osteossarcoma, ela proporciona alívio em até 93% dos casos, embora o efeito não seja permanente (Bateman, 1994; Green, Adams & Forrest, 2002; Knapp-Hoch *et al.*, 2009). Sua combinação com quimioterapia pode potencializar os resultados analgésicos (Oblak *et al.*, 2012).

Mais recentemente, a toxina botulínica (TXB), produzida pelo *Clostridium botulinum*, tem sido estudada como opção terapêutica na dor oncológica. Ela inibe a liberação de neurotransmissores excitatórios como glutamato e substância P por meio do bloqueio da exocitose dependente de cálcio no terminal nervoso, afetando diretamente o complexo SNARE (Colhado, Boeing & Ortega, 2009; Sanchez-Prieto *et al.*, 1987). Em estudos realizados em humanos e em cães submetidos à mastectomia, a TXB demonstrou eficácia no controle da dor pós-operatória, com efeito analgésico que se estende por até 60 horas (Layeeque *et al.*, 2004; Vilhegas, 2013).

O uso de canabinoides, especialmente THC (tetra-hidrocanabinol) e CBD (canabidiol), tem emergido como uma opção terapêutica importante no

tratamento da dor oncológica, com destaque para seu efeito sinérgico. O THC é um agonista parcial dos receptores CB1 e CB2, sendo amplamente responsável pelos efeitos intoxicantes da Cannabis. Ele promove analgesia, relaxamento muscular, propriedades antieméticas, anticonvulsivantes e imunomoduladoras, além de atividade neuroprotetora e suporte ao sono. O controle da dor proporcionado pelo THC se dá pela sua atuação nos receptores CB1 centrais, inibindo a liberação de neurotransmissores envolvidos na sinalização da dor. No entanto, devido aos efeitos colaterais psicoativos do THC, como ansiedade, sonolência, taquicardia e outros, é importante ajustar a dosagem para minimizar esses efeitos adversos (Blasco-Benito *et al.*, 2018; Cital *et al.*, 2021; Hazzah *et al.*, 2020; Repetti *et al.*, 2019).

O CBD, por outro lado, não ativa diretamente os receptores CB1, evitando os efeitos intoxicantes associados ao THC. Possui uma ação psicoativa parcial e é frequentemente utilizado para fins ansiolíticos e antidepressivos. O CBD também reduz os efeitos negativos do THC, deslocando-o dos receptores canabinoides e, assim, prevenindo seus efeitos colaterais. Além de seu efeito analgésico, o CBD tem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antieméticas, antineoplásicas, ansiolíticas, cardioprotetoras e contribui para o fortalecimento ósseo. Ele atua sobre receptores opioides e outros receptores acoplados à proteína G, amplificando os efeitos analgésicos e anti-inflamatórios. Outra importante característica do CBD é sua capacidade de inibir a enzima que degrada a anandamida, aumentando seus níveis no organismo, o que também auxilia no controle da dor (Blasco-Benito *et al.*, 2018; Cital *et al.*, 2021; Correia-da-Silva *et al.*, 2019; Dinis- Oliveira, 2019; Hazzah *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2020).

Além disso, a adição de CBD a um protocolo de analgesia multimodal pode prolongar a ação dos agentes analgésicos, ajudando a reduzir as doses necessárias de outros fármacos e minimizando efeitos colaterais (Cital *et al.*, 2021). Contudo, é importante monitorar o uso de CBD em conjunto com outros medicamentos, pois ele pode alterar a metabolização de fármacos no fígado, aumentando a biodisponibilidade de alguns e potencializando seus efeitos tóxicos, exigindo ajustes na dosagem de medicamentos como dexametasona, opioides e quimioterápicos.

O uso de canabinoides é contraindicado em animais com cardiomiopatia dilatada, cadelas gestantes ou lactantes e animais imaturos. Em pacientes com

doença renal ou hepática, o uso de Cannabis pode ser considerado, mas sempre sob rigoroso monitoramento (Correia-da-Silva *et al.*, 2019).

Em resumo, o tratamento da dor oncológica envolve o uso de medicamentos como AINEs, opioides e anticonvulsivantes, além de terapias complementares como acupuntura e radioterapia. O uso de canabinoides também tem mostrado benefícios, embora exija cuidados com seus efeitos colaterais. A abordagem integrada e personalizada é essencial para proporcionar alívio eficaz e melhorar a qualidade de vida do paciente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dor oncológica em cães e gatos representa um importante desafio na prática veterinária, especialmente diante do aumento da longevidade desses animais, que resulta em uma maior incidência de neoplasias. A dor, nesse contexto, não é apenas um sintoma frequente, mas um fator determinante na qualidade de vida e no prognóstico do paciente oncológico. A identificação precoce e o manejo adequado da dor são, portanto, fundamentais e devem ser considerados parte essencial do tratamento oncológico.

A fisiopatologia da dor oncológica é complexa, envolvendo mecanismos nociceptivos, neuropáticos e inflamatórios, frequentemente simultâneos, o que exige uma abordagem multimodal e individualizada para o controle eficaz dos sintomas. Além disso, a dor pode ser intensificada por procedimentos terapêuticos como quimioterapia, radioterapia e cirurgia, os quais, apesar de necessários para o controle tumoral, demandam estratégias analgésicas específicas para mitigar seus efeitos adversos.

A avaliação da dor em animais, especialmente em pacientes com câncer, deve considerar parâmetros comportamentais, fisiológicos e subjetivos, sendo essencial a colaboração dos tutores na identificação de sinais de desconforto. O uso de escalas validadas, como a Escala de Dor de Colorado e questionários de qualidade de vida, tem se mostrado eficaz no auxílio à detecção da dor e à avaliação da resposta terapêutica.

O tratamento farmacológico da dor oncológica inclui, entre outros, anti-inflamatórios não esteroidais, opioides, anticonvulsivantes, antagonistas dos receptores NMDA, antidepressivos tricíclicos e corticoides. Em casos

mais complexos, terapias adjuvantes como acupuntura, bloqueios anestésicos e radioterapia têm mostrado resultados significativos. Destaca-se também o potencial terapêutico dos canabinoides, como o THC e o CBD, que atuam de forma sinérgica com outras drogas analgésicas e apresentam efeitos benéficos no controle da dor crônica, inflamação e bem-estar emocional do paciente.

Nos casos de neoplasias em estágio avançado, onde o tratamento curativo não é mais possível, os cuidados paliativos assumem papel central, priorizando o conforto e a dignidade do paciente. Nessas situações, a decisão compartilhada com o tutor, incluindo a consideração pela eutanásia, deve ser conduzida de maneira ética, sensível e fundamentada em critérios clínicos bem estabelecidos.

Conclui-se, portanto, que a dor oncológica em cães e gatos requer atenção especializada, abordagem multidisciplinar e constante atualização científica por parte do médico veterinário. O controle eficaz da dor não apenas melhora a qualidade de vida do paciente, mas também fortalece a relação entre profissional, animal e tutor, promovendo uma medicina veterinária mais humanizada e ética.

REFERÊNCIAS

- AGHIGHI, S. A. *et al.* Assessment of the effects of adjunctive gabapentin on postoperative pain after intervertebral disc surgery in dogs. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, v. 39, n. 6, p. 636–646, 2012.
- ANDRADE, S. F. Analgésicos. In: Manual de terapêutica veterinária. 2. ed. São Paulo: Roca, 2002. p. 77-86.
- ANTUNES, M. I. P. P.; MORENO, K.; GRUMADAS, C. E. S. Avaliação e manejo da dor em cães e gatos com câncer – revisão. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v. 11, n. 2, p. 113–119, 2008.
- ASHBURN, M. A.; STAATS, P. S. Pain management of chronic pain. *The Lancet*, v. 353, p. 1865–1869, 1999.
- ASHTON, A. C.; DOLLY, J. O. Characterization of the inhibitory action of botulinum neurotoxin type A on the release of several transmitters from rat cerebrocortical synaptosomes. *Journal of Neurochemistry*, v. 50, p. 1808–1816, 1988.
- BACHUR, T. P. R. *et al.* Toxina botulínica: de veneno a tratamento. *Revista Eletrônica Pesquisa Médica*, v. 3, p. 9–18, 2009.
- BERGER, A. *et al.* Use of antiepileptics and tricyclic antidepressants in cancer patients with neuropathic pain. *European Journal of Cancer Care*, v. 15, n. 2, p. 138–145, 2006.
- BREEN, M.; MODIANO, J. F. Evolutionarily conserved cytogenetic changes in hematological malignancies of dogs and humans – man and his best friend share more than companionship. *Chromosome Research*, v. 16, n. 1, p. 145–154, 2008.

COLHADO, O. C. G.; BOEING, M.; ORTEGA, L. B. Toxina botulínica no tratamento da dor. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, v. 59, n. 8, p. 366–381, 2009.

DUQUE, J. C. M.; VALADÃO, C. A. A. Manejo da dor no paciente com câncer. *In: DALECK, C. R.; DE NARDI, A. B.; RODASKY, S. (Org.). Oncologia em cães e gatos*. São Paulo: Roca, 2008. p. 228–247.

FANTONI, D. T.; MASTROCINQUE, S. Dor e analgesia em animais. *In: ALVES NETO, O. et al. Dor: princípios e práticas*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. cap. 120, p. 1390–1407.

FLECKNELL, P. A. Recognition and alleviation of pain in animals. *In: FOX, M. W.; MICKLEY, L. D. Advances in animal welfare science*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p. 61–77.

GARCIA, A. L. *et al.* Cuidados paliativos em oncologia veterinária. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2009. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/Millenium37/6.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2017.

GAYNOR, J. S. Control of cancer pain in veterinary patients. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, v. 38, n. 6, p. 1429–1448, 2008.

HARDIE, E. M. Dor: controle. *In: ETTINGER, S. J.; FELDMAN, E. C. Tratado de medicina interna veterinária: doenças do cão e do gato*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 24–26.

HELLYER, P. W.; ROBERTSON, S. A.; FAILS, A. D. Dor: Conceitos e Manejo. *In: TRANQUILLI, W. J.; THURMON, J. C.; GRIMM, K. A. Lumb & Jones – Anestesiologia e Analgesia Veterinária*. 4. ed. São Paulo: Roca, 2014. cap. 3, p. 38–68.

HUDSON, J. T. *et al.* Assessing repeatability and validity of a visual analogue scale questionnaire for use in assessing pain and lameness in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, v. 65, n. 12, p. 1634–1643, 2004.

IASP, 2020 in Dogs. American Association for Laboratory Animal Science. v.42, n.4, p.27-31, 2020.

JOHNSTON, S. A. Dor: identificação. *In: ETTINGER, S. J.; FELDMAN, E. C. Tratado de medicina interna veterinária: doenças do cão e do gato*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 21–23.

KLAUMANN, P. R.; WOUK, A. F. P. F.; SILLAS, T. Patofisiologia da dor. *Archives of Veterinary Science*, v. 13, n. 1, p. 1–12, 2008.

McKUNE, C. M.; MURRELL, J. C.; NOLAN, A. M. *et al.* Nocicepção e dor. *In: GRIMM, K. A.; LAMONT, L. A.; TRANQUILLI, W. J.; GREENE, S. A.; ROBERTSON, S. A. Lumb & Jones – Anestesiologia e Analgesia Veterinária*. 5. ed. Rio de Janeiro: Roca, 2017. cap. 29, p. 576–617.

MUIR III, W. W.; GAYNOR, J. S. Comportamentos de dor. *In: GAYNOR, J. S.; MUIR III, W. W. Manual de controle da dor em medicina veterinária*. 2. ed. São Paulo: MedVet, 2009. cap. 2, p. 62–77.

MAPPING OF WEEDS IN CROPS OF SUGARCANE BY IMAGES OBTAINED FROM AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)

Inacio Henrique Yano
Embrapa Digital Agriculture
FATEC Santana de Parnaíba

Jose Ricardo Alves
Electrical Engineering Faculty, PUC-Campinas

Nelson Felipe Oliveros Mesa
Agricultural Engineering Faculty, Unicamp

Barbara Teruel
Agricultural Engineering Faculty, Unicamp

ABSTRACT

Brazil is a global leader in sugarcane production, a crop that provides numerous jobs, generates income, and drives economic development, making it one of the most vital sectors of the Brazilian economy. Weeds in sugarcane fields negatively impact both the productivity of the crop and the quality of the harvested product. Therefore, effective weed control is crucial, with post-emergent herbicides currently being the primary method. However, the extensive use of herbicides can lead to various problems, including high costs and negative effects on the soil's physical, chemical, and biological properties. Consequently, mapping weeds can serve as a valuable tool for control, offering three key benefits: significant economic savings, reduced environmental impact, and a lower risk of herbicide-resistant weed emergence. To address this, numerous studies have explored weed mapping using aircraft and satellite imagery. While these remote sensing methods can cover large areas, their spatial and temporal resolution is often insufficient for accurate pattern recognition. A promising alternative is the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), which capture images with higher spatial and temporal resolution. This study proposes a weed mapping system based on machine learning techniques, using RGB images captured by a UAV. The system was initially tested with three classifier models, and the Artificial Neural Network (ANN) yielded the best performance, achieving an overall accuracy of 76% and a Kappa coefficient of 0.72.

keywords: machine learning; RPA; pattern recognition.

INTRODUCTION

Brazil is a global leader in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. From sugarcane, the country produces a variety of products including ethanol, sugar, molasses, bioplastics, biodiesel, kerosene, and electricity, among others. As a result, sugarcane production plays a crucial role in generating jobs, income, and economic development, making it an essential sector of the Brazilian economy (de Moraes *et al.*, 2015).

One of the main factors affecting sugarcane productivity is the presence of weeds. Weeds cause significant damage to sugarcane crops by competing biologically for water, space, nutrients, and light—all of which are vital for sugarcane growth and physiological development (Figueiredo *et al.*, 2013).

Weeds can also negatively impact the quality of the harvested product, increase production costs (Da Silva, 2013), and release allelochemicals that hinder crop development. Furthermore, they can serve as hosts for pests and diseases, leading to additional problems for sugarcane cultivation (Procopio, 2003). In Brazil, sugarcane is currently harvested mechanically, a practice driven by legal requirements and growing environmental awareness. This method of harvesting leaves a layer of straw on the soil, which reduces light penetration and inhibits weed germination. The straw may also release exudates with allelopathic effects that prevent weed growth (Silva *et al.*, 2003).

Since the introduction of mechanized harvesting, chemical weed control in sugarcane fields has largely shifted to localized applications of post-emergent herbicides. This approach became feasible as weed infestations are now smaller and more spaced out, reducing the need for herbicide application across entire fields (Velini and Negrisoni, 2000; Ferreira *et al.*, 2010).

Given the large areas dedicated to sugarcane cultivation, the potential negative effects of herbicide use on soil quality (Reis *et al.*, 2008), and the changing distribution of weeds due to mechanized harvesting, mapping weeds has become an important tool for improving weed control. This approach offers three main benefits: significant economic savings, reduced environmental impact, and a lower risk of developing herbicide-resistant weeds (Rocha *et al.*, 2015).

With that in mind, several studies were developed for weed mapping using satellite and aircraft images (Thorp and Tian, 2004). However, although these

remote sensing methods have the advantage of covering large areas, their spatial resolution is usually not enough for phenotyping weeds, and there is also the problem of low temporal resolution, which is aggravated by the possible presence of clouds, making the images unusable (Torres-Sánchez *et al.*, 2013). An option for weed mapping from satellite images is the use of unmanned aerial vehicles (UAV), also known as remotely piloted aircraft (RPA), because it provides high spatial resolution and can revisit the field at any time (Sugiura *et al.*, 2016).

An example of use of UAV images to estimate the degree of weed infestation in a corn crop is presented by Peña *et al.* (2013), who reached an 86% overall accuracy, classifying the areas as being high, low, and free of weed infestations, using a multispectral camera. Another example can be found in the study by Peña *et al.* (2015), which described the detection of weeds between the rows of a sunflower crop, and obtained a 77% overall accuracy using RGB images and 91% using multispectral images captured by a UAV. These results were obtained using Object-Based Image Analysis (OBIA), which is a technique for classifying objects, formed by grouping pixels according to the color, size, shape, and texture of these objects. This technique was not used in this study because of the difficulty of separating areas with different species of plants into different objects, when weeds are mixed with each other or with the culture.

This study aimed to identify sugarcane (Ss) and five well-known weeds harmful to it: *Panicum maximum* (Pm) (Araldi *et al.*, 2011), *Ipomoea hederifolia* (Ih) (Correia *et al.*, 2013), *Euphorbia heterophylla* (Eh) (Rocha Pereira *et al.*, 2022), *Ipomoea quamoclit* (Iq) (Wood *et al.*, 2016), and *Brachiaria decumbens* (Bd) (Figueiredo *et al.*, 2013). To achieve this goal, statistical descriptors were extracted from RGB images captured by a UAV and used as input data in three classifier systems. The Artificial Neural Network (ANN) classifier (Yano *et al.*, 2022) showed better performance, reaching 76% overall accuracy and 0.72 Kappa coefficient compared to Random Forest (RF) (Mkhize *et al.*, 2024) and k-Nearest Neighbours (kNN) (Chetty *et al.*, 2022).

Once the identification process ended, our second goal was to create a map with the geographic location of the crop and weeds, and this was done using the Google Maps API (Hu and Dai, 2013). In this study, we used RGB cameras because they are lighter (Yun *et al.*, 2012), resulting in lower consumption of battery, and, also, because they are a lower-cost solution (Fehr *et al.*,

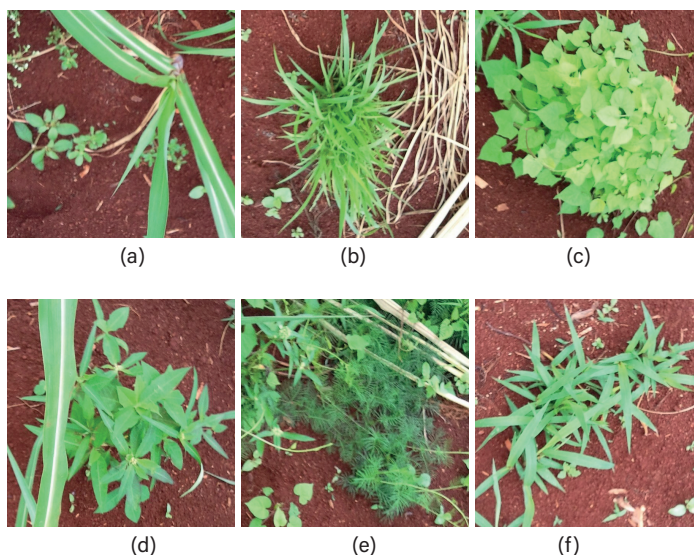
2016) than multispectral cameras, and thus can be used by a larger number of agricultural producers.

MATERIAL AND METHODS

Six plant species (Figure 1) were identified, and their locations were marked on a map using the Google Maps API. The selected plants were: (a) sugarcane (*Saccharum spp.*), (b) *Panicum maximum*, (c) *Ipomoea hederifolia*, (d) *Euphorbia heterophylla*, (e) *Ipomoea quamoclit*, and (f) *Brachiaria decumbens*. The images were taken at the experimental field of the School of Agricultural Engineering (FEAGRI) at Unicamp, located at latitude 22° 49'19" S and longitude 47° 03'41" W, where the sugarcane and weeds were planted.

The photos were captured when the weeds were approximately 15 cm tall, as several studies (Knezevic *et al.*, 2002; Gower *et al.*, 2002) indicate that there is no significant crop loss at the start of weed control when weeds are below this height. Furthermore, when weeds are much smaller than 15 cm, identification becomes feasible only in cases of high infestation due to their small size.

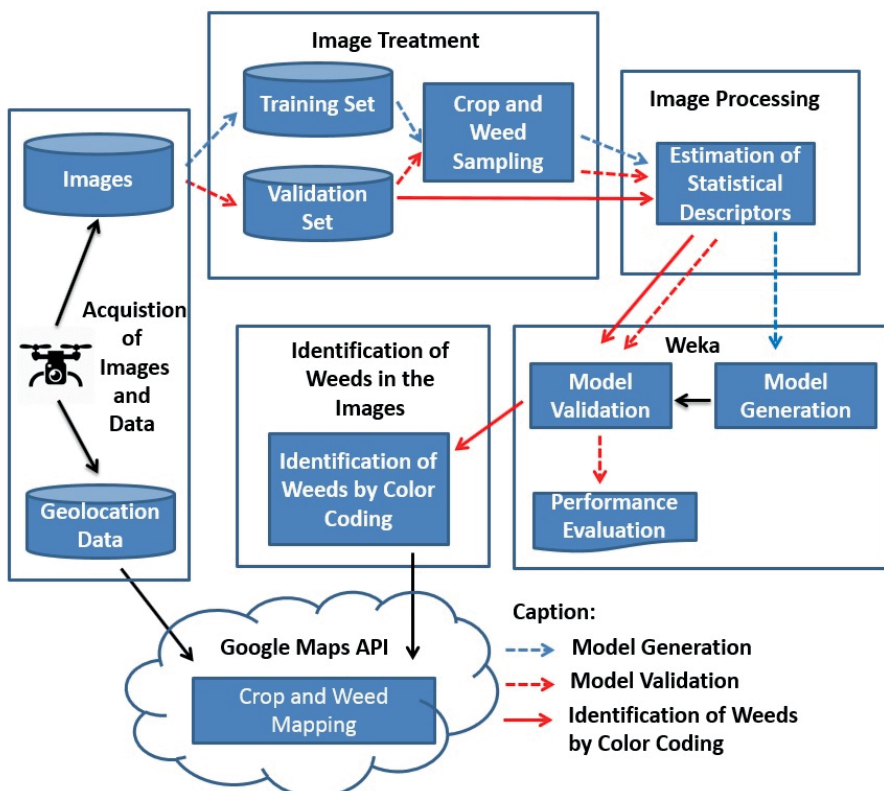
Figure 1. Images of the six species of plants identified in this study, taken at a height of 1.2 m from the ground: (a) sugarcane (*Saccharum spp.*), (b) *Panicum maximum*, (c) *Ipomoea hederifolia*, (d) *Euphorbia heterophylla*, (e) *Ipomoea quamoclit*, and (f) *Brachiaria decumbens*.



Source: Authors' own work.

The Weed Mapping System (WMS) consists of five main phases, as illustrated in the diagram in Figure 2. The first phase involves acquiring images and geolocation data, followed by the second phase, which estimates statistical descriptors from the images. In the third phase, Waikato Environment for Knowledge Analysis (Weka) is used to identify weeds (Model Creation and Validation). Weka is a free software developed by the University of Waikato, Hamilton, New Zealand. The fourth phase involves applying a color code to the plants for easier visualization. Finally, in the fifth phase, the weeds are mapped on the Google Maps platform. The computer used for programming and data processing was an Intel Core i5 with a clock speed of 8.4 GHz, 8.4 GB of RAM, and the Microsoft Windows 10 operating system.

Figure 2. Diagram of the Weed Mapping System (WMS).



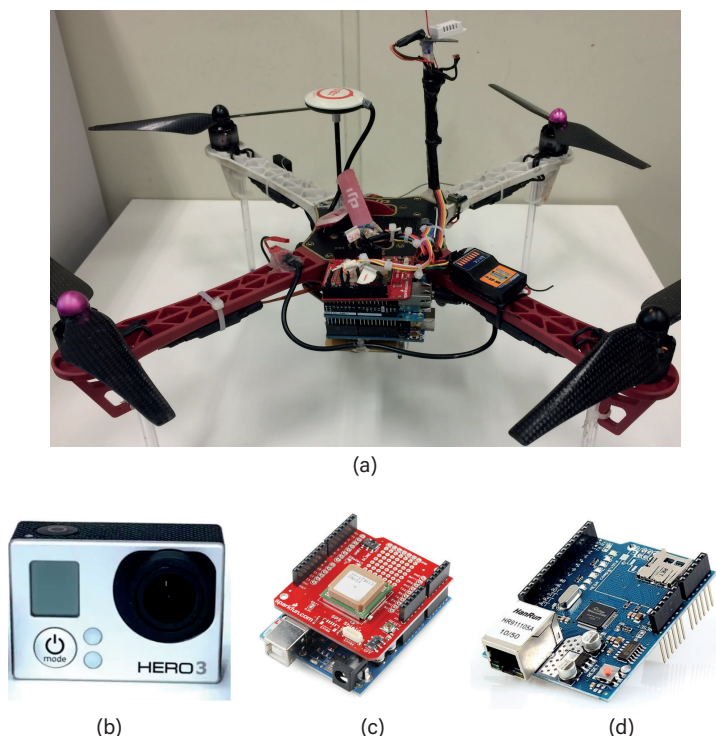
Source: Authors' own work.

Acquisition of images and data

The Weed Mapping System (WMS) begins with the acquisition of images and data. RGB images were captured by a UAV, specifically a DJI F450 Quadcopter (Figure 3a), equipped with a GoPro Hero3 Silver Edition camera (Figure 3b), which captured images at a resolution of 2624×1968 pixels (5.1 MP). Geolocation data for Crop and Weed Mapping were obtained using a GPS-10710 SparkFun GPS Shield connected to an Arduino Uno (Figure 3c). Detailed connection instructions and the Arduino programming code are available at SparkFun GPS Shield Hookup Guide.

The geolocation data were recorded on an SD memory card using an Ethernet Shield W5100 (<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield>) (Figure 3d), with the data stored in a text file (Figure 3e) using the SD Library (<https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>).

Figure 3. (a) DJI F450 Quadcopter, (b) GoPro Hero3 Silver Edition, (c) GPS-10710 SparkFun GPS Shield connected to an Arduino Uno, (d) Ethernet Shield W5100, Example of geolocation data collected by SparkFun GPS Shield.



```

c:\ Prompt de Comando
Location:-22.820972,-47.060962 Date/Time:11/20/2016 09:20:27
Location:-22.820972,-47.060962 Date/Time:11/20/2016 09:20:28
Location:-22.820972,-47.060962 Date/Time:11/20/2016 09:20:28
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:29
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:29
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:30
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:30
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:31
Location:-22.820970,-47.060966 Date/Time:11/20/2016 09:20:31
Location:-22.820972,-47.060970 Date/Time:11/20/2016 09:20:32

```

(e)

Source: Authors' own work.

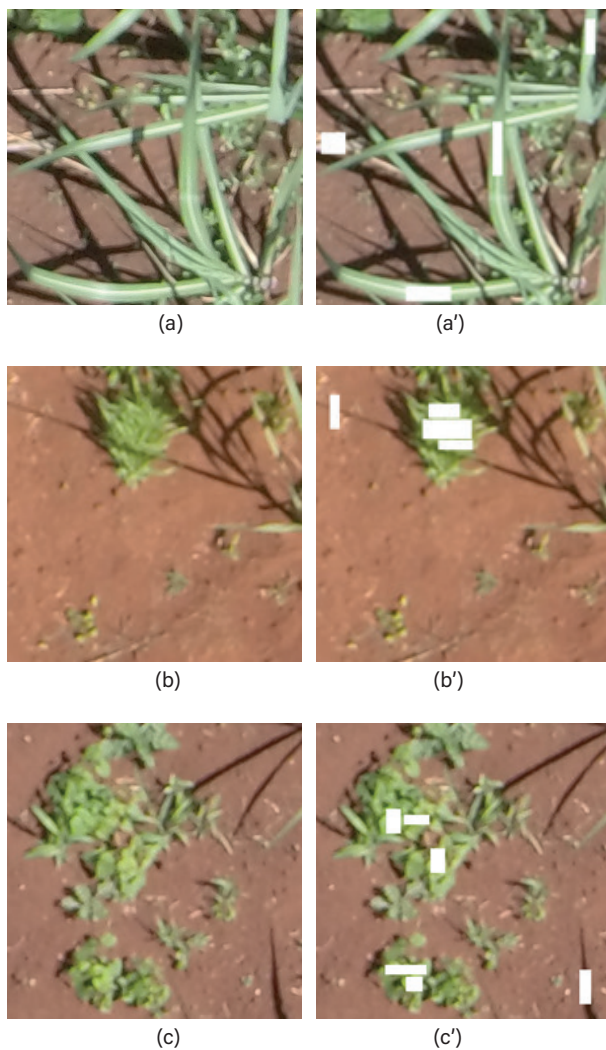
The images were captured with the UAV flying at a height of approximately three meters and were then divided into two sets: Training and Validation. The Training Set images were used for Model Development (blue dashed line), while the Validation Set images were used for Model Validation (red dashed line) and for Crop and Weed Mapping (solid red line).

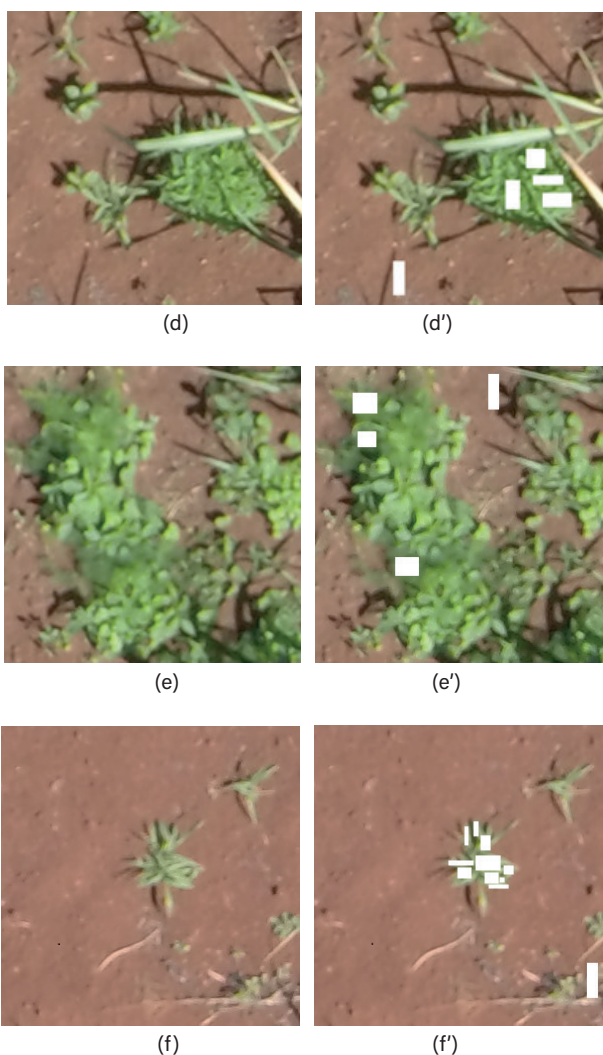
Crop and Weed Sampling

The WMS operates in a supervised manner, with samples of crops and weeds from the Training Set (blue dashed line) being previously identified and used to train the classifiers in the Weka software. The samples from the Validation Set (red dashed line) were then used to evaluate the performance of the classifiers.

Figure 4 shows examples of sampling, where portions of the images of the six plant species—(a) sugarcane, (b) *P. maximum*, (c) *I. hederifolia*, (d) *E. heterophylla*, (e) *I. quamoclit*, and (f) *B. decumbens*—were selected for the Training Set. The lowercase letters (e.g., a) refer to the original images, while the lowercase letters with an apostrophe (e.g., a') indicate the same images after the sample extraction.

Figure 4. Parts of the images of the Training Set (a) *sugarcane*, (b) *P. maximum*, (c) *I. hederifolia*, (d) *E. heterophylla*, (e) *I. quamoclit*, and (f) *B. decumbens*. Lowercase letters (e.g., a) represent the original images, and lowercase letters with apostrophe (e.g., a') represent the same images after sample extraction.





Source: Authors' own work.

Estimation of Statistical Descriptors

The input data for training (blue dashed line) and validation (red dashed line) of the Weka software models consisted of statistical descriptors extracted from the sub-images (Khalil *et al.*, 2010) of the images obtained during the Crop and Weed Sampling activity. The data used for the Weed Identification by Color Coding activity (solid red line) were the statistical descriptors extracted from the sub-images of the Validation Set images.

Statistical descriptors provide more information than just pixel values, including mean, measures of dispersion, histogram shape, and maximum and minimum values, thus expanding the possibilities for pattern recognition. In this activity, a Java program extracted eight statistical descriptors (mean, standard deviation, variance, mean deviation, skewness, kurtosis, maximum, and minimum values) from the three color channels (red, green, and blue) of the sub-images, resulting in a total of 24 descriptors.

The crop and weed samples were divided into small 5×5 pixel squares, or 25-pixel sub-images (Christensen *et al.*, 2009), before the 24 statistical descriptors were extracted. In this study, the 25-pixel sub-images provided the best results in the Weka classifiers. However, the ideal sub-image size depends on factors such as image resolution and the level of weed infestation in the field (Vieira and Garrett, 2005). Very small sub-images may lack sufficient variation in statistical descriptors for effective pattern recognition, while very large sub-images may contain parts of more than one plant species, which can negatively impact the identification process.

Model Generation

The Model Generation activity creates models to identify crops and weeds in images obtained from UAVs. The statistical descriptors of the Training Set sub-images (blue dashed line) were used to develop models for three classifiers: Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), and k-Nearest Neighbor (kNN).

In this study, the Weka software was configured with its default parameters to develop the three models, using the following options:

- For ANN: -L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -E 20 -H a
- For RF: Bagging with 100 iterations and base learner and `weka.classifiers.trees.RandomTree` -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1 -do-not-check-capabilities
- For kNN: -K 1 -W 0 -A "weka.core.neighboursearch.LinearNNSearch -A "weka.core.EuclideanDistance -R first-last"

Table 1 provides a summary of the data used to develop the models. Three images were selected to sample the features of each plant species, while soil samples were taken from six images used to sample the plant species. The Training Set images can be viewed on the website http://ihyano.epizy.com/mapa_CEA.html by clicking on the pins marked with the letter "T"

Table 1. Training Set.

Classes	Images	Samples	Sub-images
Sugarcane	3	14	130
<i>Panicum maximum</i>	3	6	268
<i>Ipomoea hederifolia</i>	3	11	112
<i>Euphorbia heterophylla</i>	3	8	159
<i>Ipomoea quamoclit</i>	3	8	208
<i>Brachiaria decumbens</i>	3	23	100
Soil	6	8	270
Total	18	78	1252

Source: Authors' own work.

Model Validation

In this activity, validation was performed by applying the statistical descriptors of crop and weed samples from the Validation Set (Figure 5) to the models developed for weed identification during the Model Generation phase. The performance results of the classifiers are represented by the red dashed line. This activity was also used to classify crops, weeds, and soil in the sub-images extracted from the Validation Set images, represented by the continuous red line. Once identified, the sub-images were color-coded for easier visualization as part of the Identification of Weeds by Color Coding activity (continuous red line).

Table 2 provides a summary of the data used for model validation. One image from each plant species was selected to sample their features, while soil samples were obtained from the same six images used to sample the plant species because of this the total images used for validation is the same as the soil samples. The Validation Set images can be accessed on the website http://ihyano.epizy.com/mapa_CEA.html by clicking on the pins marked with the letter "V." Unlike the Training Set data, the Validation Set data were balanced, with each class containing only 50 sub-images (the first 50). This approach was adopted to prevent distortions in the classifiers' performance evaluation caused by unbalanced data.

Table 2. Validation Set

Classes	Images	Samples	Sub-images (the first fifty)
Sugarcane	1	2	50
<i>Panicum maximum</i>	1	3	50
<i>Ipomoea hederifolia</i>	1	2	50
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1	1	50
<i>Ipomoea quamoclit</i>	1	2	50
<i>Brachiaria decumbens</i>	1	11	50
Soil	6	7	50
Total	6	28	350

Source: Authors' own work.

Identification of weeds by color coding

The output from the Model Validation of the Validation Set images, represented by the continuous red line in the WMS diagram, serves as the input for the Identification of Weeds by Color Coding activity. In this step, a Java program is used to color-code the sub-images identified as one of the six plant species selected for this study. Each species is assigned a specific color: red for sugarcane, blue for *P. maximum*, yellow for *I. hederifolia*, orange for *E. heterophylla*, purple for *I. quamoclit*, and violet for *B. decumbens*. This color-coding facilitates easier visualization, as illustrated in Figure 5 of the results and discussion section.

Crop and weed mapping

The Crop and Weed Mapping (Figure 6 in the results and discussion section) was the final activity in the WMS and was developed using Google Maps' JavaScript API (Hu and Dai, 2013). This map was created using data from a table (Table 8 in the results and discussion section) that combined geolocation information stored on an SD card—obtained during the Image Acquisition activity—with the images generated during the Identification of Weeds by Color Coding activity. The JavaScript code for this map was published on a website (http://ihyano.epizy.com/mapa_CEA.html) to ensure easy access and high availability.

RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results of the classifiers used to identify weeds in the experimental field, as well as the visual outputs of this study, including a map showing the spatial distribution of crops and weeds. As highlighted in the introduction, the Artificial Neural Network achieved the best performance, correctly classifying 76.0% of the instances with a Kappa coefficient of 0.7200. The second-best performer was the Random Forest classifier, which correctly classified 74.3% of the instances with a Kappa coefficient of 0.7000. According to Zhang *et al.* (2010), these results indicate good agreement (Table 3). The k-Nearest Neighbor classifier performed the worst, correctly classifying 62.6% of the instances with a Kappa coefficient of 0.5633, which can be categorized as moderate agreement.

Table 3. Interpretation of the Kappa coefficient according to Landis and Koch (1977).

Kappa coefficient	Agreement Strength
<0.41	Poor
0.41-0.61	Moderate
0.61-0.81	Good
>0.81	Excellent

Source: Authors' own work.

Tables 4, 5, and 6 display the confusion matrices for the results of the Artificial Neural Network (ANN), Random Forest (RF), and k-Nearest Neighbor (kNN) classifiers, respectively. The ANN achieved the best performance across all classes, except for *Ipomoea hederifolia* and *Euphorbia heterophylla*, where RF produced the best results. In this study, kNN did not outperform the other classifiers for any plant species. From the tables, it is evident that the class "soil" achieved the highest accuracy across all classifiers. This class was included in the model to prevent misclassification as any plant species.

Table 4. Confusion matrix of the Artificial Neural Network results.

Classified as -->	a	b	c	d	e	f	g	Row total
a = sugarcane	43	3	1	0	0	3	0	50
b = <i>P.maximum</i>	0	23	24	3	0	0	0	50
c = <i>I. hederifolia</i>	4	2	42	2	0	0	0	50
d = <i>E. heterophylla</i>	0	11	3	35	1	0	0	50
e = <i>I. quamoclit</i>	0	6	0	2	37	5	0	50
f = <i>B. decumbens</i>	3	7	3	1	0	36	0	50
g = soil	0	0	0	0	0	0	50	50
Column total	50	52	73	43	38	44	50	350

Source: Authors' own work.

Table 5. Confusion matrix of Random Forest results.

Classified as -->	a	b	c	d	e	f	g	Row total
a = sugarcane	41	2	4	0	0	3	0	50
b = <i>P.maximum</i>	0	22	24	3	0	1	0	50
c = <i>I. hederifolia</i>	3	3	42	1	0	1	0	50
d = <i>E. heterophylla</i>	0	4	3	41	2	0	0	50
e = <i>I. quamoclit</i>	0	2	0	13	33	2	0	50
f = <i>B. decumbens</i>	3	6	2	3	0	35	1	50
g = soil	0	0	0	0	4	0	46	50
Column total	47	39	75	61	39	42	47	350

Source: Authors' own work.

Table 6. Confusion matrix of k-Nearest Neighbors results.

Classified as □	a	b	c	d	e	f	g	Row total
a = sugarcane	39	1	5	0	0	5	0	50
b = <i>P.maximum</i>	1	20	16	11	0	2	0	50
c = <i>I. hederifolia</i>	2	11	26	4	0	7	0	50
d = <i>E. heterophylla</i>	0	4	4	38	4	0	0	50
e = <i>I. quamoclit</i>	0	4	1	15	20	10	0	50
f = <i>B. decumbens</i>	3	9	7	3	0	26	2	50
g = soil	0	0	0	0	0	0	50	50
Column total	45	49	59	71	24	50	52	350

Source: Authors' own work.

The results achieved by the ANN classifier in the WMS can be considered satisfactory because we worked with seven classes (crop, soil, and five weed species). As noted by Zhang *et al.* (2016), accuracy typically decreases as the

number of classes increases. Despite this complexity, the ANN classifier achieved a 69.2% average accuracy for weed identification (Table 7) and 86% accuracy for sugarcane (crop) identification (Table 4), which can be considered respectively good and excellent agreement according to Kappa coefficient.

Table 7. Evaluation of the precision in the identification of weeds by classifier ANN.

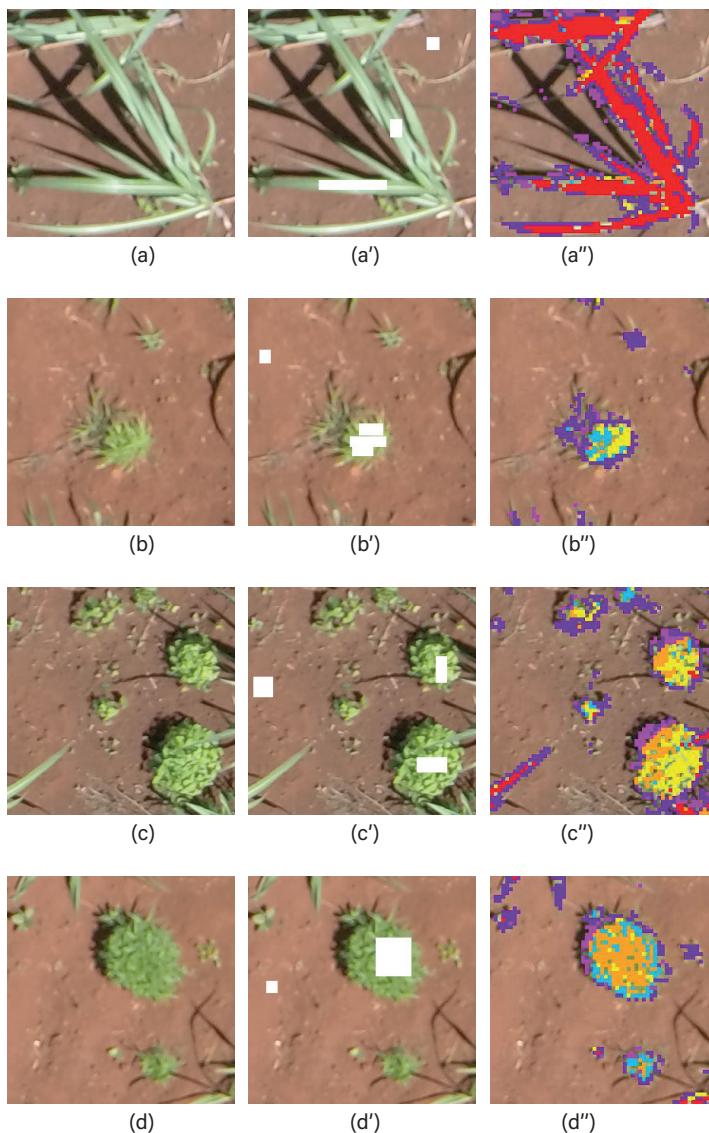
Weed	Correct (%)
<i>P.maximum</i>	46
<i>I. hederifolia</i>	84
<i>E. heterophylla</i>	70
<i>I. quamoclit</i>	74
<i>B. decumbens</i>	72
Average	69.2

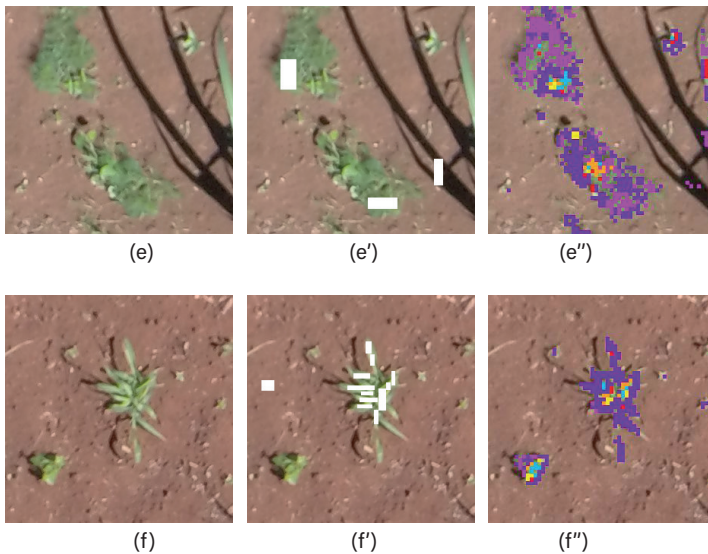
Source: Authors' own work.

The second-to-last activity in the WMS workflow is the Identification of Weeds by Color Coding (represented by the continuous red line in the WMS Diagram, Figure 2). This activity was designed to facilitate the visualization of crops and weeds in the images processed by the system. The visual output for the Validation Set (Figure 5) includes images of sugarcane (a), *P. maximum* (b), *I. hederifolia* (c), *E. heterophylla* (d), *I. quamoclit* (e), and *B. decumbens* (f).

Lowercase letters (e.g., a) indicate portions of the original images. Lowercase letters followed by an apostrophe (e.g., a') represent the same image sections after sample extraction, which were used to assess classifier performance. Lowercase letters with two apostrophes (e.g., a'') correspond to the same sections of the original images, but with weeds identified using a color code: red for sugarcane, blue for *P. maximum*, yellow for *I. hederifolia*, orange for *E. heterophylla*, purple for *I. quamoclit*, and violet for *B. decumbens*.

Figure 5. Parts of images of the Validation Set ((a) sugarcane, (b) *P. maximum*, (c) *I. hederifolia*, (d) *E. heterophylla*, (e) *I. quamoclit*, and (f) *B. decumbens*). Lowercase letters (e.g., a) represents the original part of the images, lowercase letters with apostrophe (e.g., a') represent the same part of the images after samples extraction, and lowercase letters with two apostrophes (e.g., a'') represent the same part of the images with plants identified by a color code (red for sugarcane, blue for *P. maximum*, yellow for *I. hederifolia*, orange for *E. heterophylla*, purple for *I. quamoclit*, and violet for *B. decumbens*).





Source: Authors' own work.

The final activity of the WMS, Crop and Weed Mapping, provides results accessible at http://ihyano.epizy.com/mapa_CEA.html (Figure 6). This website integrates geolocation data with the output images from the Identification of Weeds by Color Coding process. Table 8, which includes the photo number (PN), date, time, latitude, longitude, set (Training or Validation), and plant species, was used to pinpoint infestation locations on Google Maps.

Through the Crop and Weed Mapping, users can view images marked with a color code corresponding to the six plant species studied. The pins on the Google Maps interface are also color-coded to match the plant identification scheme: red for sugarcane, blue for *P. maximum*, yellow for *I. hederifolia*, orange for *E. heterophylla*, purple for *I. quamoclit*, and violet for *B. decumbens*.

To enhance the visualization of plant distribution in the field, both Training Set and Validation Set data are displayed on the map. Pins with a star and the letter "V" allow access to Validation Set images, while pins with the letter "T" correspond to Training Set images.

When reviewing the images with color-coded weed identification, some errors in classification can be observed. These errors are primarily due to variations in leaf color within the same plant species. Such color differences arise from varying levels of sunlight exposure—leaves from plants with less sunlight

appear darker than those exposed to more sunlight (Klich, 2000). Additional factors such as leaf age, nutritional deficiencies, and others also contribute to color variations.

Table 8. Information on the geolocation of the plants identified in the images.

P.N.	Date	Time	Latitude	Longitude	Set	Plant
1319	20/11	09:21:42	-22.820671	-47.061222	Valid	<i>B.d</i>
1374	20/11	09:22:38	-22.820459	-47.061298	Valid	<i>E.h.</i>
1378	20/11	09:22:42	-22.820436	-47.061317	Valid	<i>P.m.</i>
1403	20/11	09:23:08	-22.820325	-47.061389	Valid	<i>I.h.</i>
1434	20/11	09:23:38	-22.820209	-47.061477	Valid	<i>S.s.</i>
1449	20/11	09:23:54	-22.820184	-47.061489	Valid	<i>I.q.</i>
1297	20/11	09:21:20	-22.820926	-47.060981	Train	<i>B.d.</i>
1335	20/11	09:21:58	-22.820854	-47.061153	Train	<i>B.d.</i>
1337	20/11	09:22:00	-22.820838	-47.061141	Train	<i>I.h.</i>
1339	20/11	09:22:04	-22.820804	-47.061157	Train	<i>B.d.</i>
1350	20/11	09:22:14	-22.820659	-47.061218	Train	<i>I.h.</i>
1354	20/11	09:22:18	-22.820665	-47.061195	Train	<i>S.s</i>
1356	20/11	09:22:20	-22.820650	-47.061180	Train	<i>I.q.</i>
1357	20/11	09:22:22	-22.820644	-47.061176	Train	<i>I.q.</i>
1369	20/11	09:22:34	-22.820583	-47.061218	Train	<i>P.m.</i>
1383	20/11	09:22:48	-22.820550	-47.061244	Train	<i>P.m.</i>
1389	20/11	09:22:54	-22.820516	-47.061264	Train	<i>P.m.</i>
1398	20/11	09:23:02	-22.820507	-47.061279	Train	<i>E.h.</i>
1406	20/11	09:23:10	-22.820444	-47.061305	Train	<i>I.h.</i>
1408	20/11	09:23:12	-22.820444	-47.061309	Train	<i>I.q.</i>
1413	20/11	09:23:18	-22.820411	-47.061336	Train	<i>E.h.</i>
1417	20/11	09:23:22	-22.820390	-47.061351	Train	<i>E.h.</i>
1439	20/11	09:23:44	-22.820299	-47.061397	Train	<i>S.s</i>

Source: Authors' own work.

Figure 6. Website with the images of the six plant species identified by a color code (red for sugarcane, blue for *P. maximum*, yellow for *I. hederifolia*, orange for *E. heterophylla*, purple for *I. quamoclit*, and violet for *B. decumbens*). The pins have the same color coding of the plants and the letter on the pins indicates to which set the image belongs, "V" for Validation Set and "T" for Training Set. The pins to access the images of the Validation Set also have a star for easier identification.



Source: Authors' own work.

CONCLUSION

In this study, three classifiers were tested to identify weeds in images captured by a UAV. The best results were obtained with the ANN classifier, which achieved a Kappa coefficient of 0.72, indicating good agreement. The RF classifier also showed good agreement, suggesting that both classifiers are suitable for plant identification.

With 76% of cases correctly classified by ANN, this metric further supports the reliability of the model. Therefore, WMS can be considered an effective tool for mapping weeds and crops. A map featuring geolocation data of weeds, accessible online, can be valuable for more precise herbicide application—especially considering the changes in pest levels and weed species after the adoption of mechanized sugarcane harvesting.

The production of images with crops and weeds color-coded provides a useful tool for visually evaluating the plant identification process. It allows users to observe the spatial distribution of weeds and identify misclassifications in relation to their occurrence.

Acknowledgments

The authors thank the School of Agricultural Engineering of University of Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, for the access to the experimental field.

REFERENCES

- Araldi, R., Velini, E. D., Giroto, M., Carbonari, C. A., Sampaio, T. F., & Trindade, M. L. B. (2011). Relação entre o consumo de água e a absorção de herbicidas em plantas daninhas e cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 1045-1051.
- Azevedo, E., & Conci, A. (2003). *Computação gráfica: teoria e prática*. Elsevier.
- Burks, T. F., Shearer, S. A., Gates, R. S., & Donohue, K. D. (2000). Backpropagation neural network design and evaluation for classifying weed species using color image texture. *Transactions of the ASAE*, 43(4), 1029.
- Coelho, M. F. B., Maia, S. S. S., Oliveira, A. K., & Diógenes, F. E. P. (2011). Atividade alelopática de extrato de sementes de juazeiro Allelopathic activity of juazeiro seed extract. *Horticultura Brasileira*, 29(1), 108-111.
- Chen, Y., Lin, P., He, Y., & Xu, Z. (2011). Classification of broadleaf weed images using Gabor wavelets and Lie group structure of region covariance on Riemannian manifolds. *Biosystems engineering*, 109(3), 220-227.
- Chetty, R. K., Ramya, M., MOHAN, M., Arjun, M., Dhanush, S., KUMAR, C. K., & Dhivakar, J. (2022). Weed identification using knn algorithm for paddy field based on machine vision.
- Christensen, S., Søgaard, H. T., Kudsk, P., Nørremark, M., Lund, I., Nadimi, E. S., & Jørgensen, R. (2009). Site-specific weed control technologies. *Weed Research*, 49(3), 233-241.
- Correia, N. M., Camilo, E. H., & Santos, E. A. (2013). Sulfentrazone efficiency on *Ipomoea hederifolia* and *Ipomoea quamoclit* as influenced by rain and sugarcane straw. *Planta Daninha*, 31(1), 165-174.
- Cunha, P. L. R. D., Paula, R. C. M. D., & Feitosa, J. (2009). Polysaccharides from Brazilian biodiversity: an opportunity to change knowledge into economic value. *Química Nova*, 32(3), 649-660.
- da Silva, E. O., Neto, A. M. O., Guerra, N., de Oliveira, N. C., Bottega, E. L. (2013). Efeito do controle químico das plantas daninhas e adubação sobre o cultivo cana-soca. *Campo Digital*, 8(2), 45-54.
- de Moraes Nogueira, H. M. C., Nogueira, C. U., & Luiz, A. (2015). Avaliação da produção e resistência à geada de cultivares de cana-de-açúcar Evaluation of production and resistance to frost in sugarcane cultivars. *Revista Espacios*, 36(24), 15.
- de Moura Pires, N., Prates, H. T., Filho, I. A. P., & Silvério, R. (2001). Atividade alelopática da leucena sobre espécies de plantas daninhas. *Scientia Agrícola*, 58(1), 61-65.
- Fehr, D., Beksi, W. J., Zermas, D., & Papanikolopoulos, N. (2016). Covariance based point cloud descriptors for object detection and recognition. *Computer Vision and Image Understanding*, 142, 80-93.

Figueiredo, P. A. M., Ramos, S. B., Viana, R. S., Lisboa, L. A. M., & Heinrichs, R. (2013). Morph anatomical changes of sugar cane leaves in phase of establishment under weed competition. *Planta Daninha*, 31(4), 777-784.

Godinho, M. D. S., Pereira, R. O., Ribeiro, K. D. O., Schmidt, F., Oliveira, A. E. D., & Oliveira, S. B. D. (2008). Classificação de refrigerantes através de análise de imagens e análise de componentes principais (PCA).

González, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Mathematical Morphology in Digital Image Processing*, Ed Prentice Hall. ISBN 0-201-18075-8, 519-560.

Gower, S. A., Loux, M. M., Cardina, J., & Harrison, S. K. (2002). Effect of planting date, residual herbicide, and postemergence application timing on weed control and grain yield in glyphosate-tolerant corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 16(3), 488-494.

Hu, S., & Dai, T. (2013). Online Map Application Development Using Google Maps API, SQL Database, and ASP .NET. *International Journal of Information and Communication Technology Research*, 3(3).

Khalil, M. S., Mohamad, D., Khan, M. K., & Al-Nuzaili, Q. (2010). Fingerprint verification using statistical descriptors. *Digital Signal Processing*, 20(4), 1264-1273.

Klich, M. G. (2000). Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and experimental botany*, 44(3), 171-183.

Knezevic, S. Z., Evans, S. P., Blankenship, E. E., Van Acker, R. C., & Lindquist, J. L. (2002). Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed science*, 50(6), 773-786.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.

Mkhize, Y., Madonsela, S., Cho, M., Nondlazi, B., Main, R., & Ramoelo, A. (2024). Mapping weed infestation in maize fields using Sentinel-2 data. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 134, 103571.

Monaco, T. J., Weller, S. C., & Ashton, F. M. (2002). *Weed science: principles and practices*. John Wiley & Sons.

Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., de Castro, A. I., Kelly, M., & López-Granados, F. (2013). Weed mapping in early-season maize fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (VANT) pictures. *PLoS One*, 8(10), e77151.

Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2015). Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (VANT) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 15(3), 5609-5626.

Procopio, S. D. O. (2003). *Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar*. Universidade Federal de Viçosa.

Reis, M. R., Silva, A. A., Guimarães, A. A., Khouri, C. R., Ferreira, E. A., Ferreira, F. A., & Freitas, M. A. M. (2008). Dinâmica de nutrientes em tecidos foliares de cana-de-açúcar após aplicação de herbicidas. *Planta Daninha*, 26(1), 175-184.

Rocha, F.C., Oliveira Neto, A.M., Bottega, E.L., Guerra, N., Rocha, R.P., & Vilar, C.C.. (2015). Weed mapping using techniques of precision agriculture. *Planta Daninha*, 33(1), 157-164. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582015000100018>

Rocha Pereira, M. R., Marchi, S., & Martins, D. (2022). Effect of different herbicides on *Bidens pilosa* and *Euphorbia heterophylla* biotypes resistant to ALS inhibitors. *Bioscience Journal*, 38.

- Silva, J. R. V., Costa, N. V., & Martins, D. (2003). Effects of sugarcane cultivars straw on *Cyperus rotundus* emergence. *Planta Daninha*, 21(3), 373-380.
- Sugiura, R., Tsuda, S., Tamiya, S., Itoh, A., Nishiwaki, K., Murakami, N., ... & Nuske, S. (2016). Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, 148, 1-10.
- Thorp, K. R., & Tian, L. F. (2004). A review on remote sensing of weeds in agriculture. *Precision Agriculture*, 5(5), 477-508.
- Torres-Sánchez J, López-Granados F, De Castro AI, Peña-Barragán JM (2013) Configuration and Specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (VANT) for Early Site Specific Weed Management. *PLoS ONE* 8(3): e58210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058210>
- Wood, J. R., Carine, M. A., Harris, D., Wilkin, P., Williams, B., & Scotland, R. W. (2015). *Ipomoea* (Convolvulaceae) in Bolivia. *Kew bulletin*, 70, 1-124.
- Velini, E. D., & Negrisoli, E. (2000). Controle de plantas daninhas em cana-de-açúcarcrua. In Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (Vol. 22, No. 200, pp. 148-164).
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam Med*, 37(5), 360-363.
- Yano, I. H., Mesa, N. F. O., & Teruel, B. (2022). Crop and weed identification in sugarcane fields using RGB UAV imagery. *Open Science Research VI*, 6(1), 761-775.
- Yun, M., Kim, J., Seo, D., Lee, J., & Choi, C. (2012). Application possibility of smartphone as payload for photogrammetric VANT system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(B4), 349-352.
- Zhang, J., Yang, C., Song, H., Hoffmann, W. C., Zhang, D., & Zhang, G. (2016). Evaluation of an airborne remote sensing platform consisting of two consumer-grade cameras for crop identification. *Remote Sensing*, 8(3), 257.
- Zhang, X., Feng X. and Jiang H. 2010. Object-oriented method for urban vegetation mapping using IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing* 31: 177-196.

PERCEPÇÃO DO SUPORTE ORGANIZACIONAL E QUALIDADE DE VIDA EM PROFISSIONAIS DO SISTEMA ÚNICO DE ASSISTÊNCIA SOCIAL (SUAS)

Micaele Daline Apolonio da Fonseca
Universidade Potiguar

Andrea Cristina Fermiano Fidelis
Universidade Potiguar

Nilton S. Formiga
Universidade Potiguar

Samira Celeste Rocha de Souza
Universidade Potiguar

Cláudia Regina Bastos Praxedes Barros
Universidade Potiguar

Ana Efigênia Rodrigues dos Santos
Universidade Potiguar

RESUMO

Pretende-se neste capítulo, analisar os aspectos positivos e negativos que impactam a saúde do trabalhador do Sistema Único de Assistência Social (SUAS) do município de Assú, estado do Rio Grande do Norte e trabalhadores gerais (que não atuam no SUAS). 111 trabalhadores do SUAS responderam, além de dados sociodemográficos, a Escala de qualidade de vida (*Medical Outcomes Study*36. SF-36) e Escala de Percepção de Suporte Organizacional (EPSO). Conforme os resultados o suporte organizacional representa aspectos positivos e significativos entre domínio físico e domínio mental, na sua relação com a qualidade de vida, ou seja, quanto maior o suporte organizacional, melhor a qualidade de vida. Os trabalhadores da referida amostra percebem que o ambiente de trabalho no qual estão inseridos atende suas necessidades e que elas são validadas pela organização a qual faz parte. Diante disto, o suporte organizacional ainda desempenha um fator que auxilia na manutenção da saúde mental e física. Os dados sugerem que, quando a chefia compreende que o trabalhador necessita ser percebido em sua totalidade, ele não é um ser isolado socialmente, mas tem um ambiente de trabalho com estruturação positiva, por mais que o contexto de trabalho demande lidar com situações referentes ao sofrimento, dor e até mesmo a própria ineficiência do setor público.

Palavras-chave: suporte organizacional; qualidade de vida; sofrimento psíquico; CRAS.

INTRODUÇÃO

O presente artigo tem o propósito de abordar os construtos referentes a Qualidade de Vida e a Percepção do Suporte Organizacional no contexto dos profissionais do Sistema Único de Assistência Social (SUAS), do município de Assú-RN, e como essas concepções podem influenciar positivamente e/ou negativamente o ambiente de trabalho.

Destarte, faz-se necessário compreender como a relação de trabalho, percepção do suporte organizacional, tem impactado na qualidade de vida dos trabalhadores da assistência social. Haja visto que no contexto brasileiro a assistência social é uma política não contributiva, descentralizada, que o Estado tem o dever de garantir a todo cidadão que dela necessitar conforme preconizado pela Política Nacional de Assistência Social (PNAS) (Brasil, 2004). Esta é uma política que dispõe de princípios e diretrizes, e institui programas, serviços, projetos e benefícios a população que se encontra em estado de vulnerabilidade ou risco social e pessoal conforme a Lei Orgânica da Assistência Social (LOAS) de 1993 (Brasil, 2015). Sendo assim, esses profissionais atuam frente as vulnerabilidades, e consequentemente podem estar expostos a situações de dor, sofrimento e a ineficiência do sistema (Guimarães, Oliveira & Silva, 2020).

Diante dessa perspectiva, é importante compreender como a atividade laboral dos profissionais do SUAS tem impactado a qualidade de vida e sua produtividade dentro e fora do âmbito de trabalho e se os profissionais dispõem de suporte organizacional para desempenhar as suas funções. Segundo Gaier *et al.* (2020) a inserção da qualidade de vida no trabalho permite o desenvolvimento humano no contexto laboral, haja visto que o indivíduo é considerado um dos fatores vitais dentro da organização.

O tema da qualidade de vida no trabalho é relevante na atualidade, por permitir que os profissionais se sintam satisfeitos e motivados no ambiente de trabalho e assim desempenhe suas tarefas com qualidade (Gaier *et al.*, 2020). Ou seja, quando o ambiente de trabalho representa aspectos positivos e melhores condições de trabalho, o funcionário desempenha as suas funções com qualidade e produtividade, sendo que o contrário representa insatisfação (Benevenuto, Souza & Carvalho, 2019).

Segundo Araújo *et al.* (2019 p.2) a qualidade de vida no trabalho não está apenas relacionada as condições físicas no âmbito laboral, mas a tudo que envolve a “promoção da saúde e prevenção de doenças relacionadas ao trabalho, além de apresentar impacto econômico ao promover condições favoráveis ao trabalho, diminuindo incapacidade”.

Nessa direção, Tamayo e Tróccoli (2002) apresenta que o suporte organizacional, quando positivo, favorece a diminuição da exaustão emocional relacionada ao trabalho, e, quando esse não acontece, repercute no adoecimento emocional; condição esta, que tem sua importância quando se avaliar a percepção e a crença do trabalho na intensidade, frequências e magnitude da avaliação que a organização lhe apoia e valoriza, isto é , oferece suporte organizacional.

Sendo assim, o suporte organizacional consiste nas expectativas e crenças que o profissional tem a respeito do seu reconhecimento no ambiente de trabalho, que podem estar relacionadas ao gerenciamento e a diminuição da exaustão emocional, partindo do princípio da valorização e incentivo dos superiores para com os subordinados (Tamayo & Tróccoli, 2002).

Eisenberger *et al.* (1986) em afirmação a isso abordam que o suporte organizacional são justamente as crenças globais entre trabalhador e organização, numa construção mútua de valorização e contribuição para o bem-estar dos funcionários no ambiente laboral. Em consonância a isso, o suporte organizacional pode ser compreendido na forma que o trabalhador percebe que o seu espaço de trabalho atende a suas necessidades e desejos, tendo como representatividade de função, estrutura e organização alinhada a benefícios mútuos entre organização e trabalhador (Oliveira-Castro, Pilati & Borges-Andrade, 1999; Paula *et al.*, 2021; Formiga, Paula & Silva, 2022).

Campos e Cavazotte (2023) mencionam também que o suporte organizacional pode favorecer a autodeterminação do profissional, quando a organização permite que o funcionário desenvolva a sua autonomia, as tarefas laborais com êxito. Que pode ser estimulado através do reconhecimento do profissional, e tornando o ambiente de trabalho significativo.

O reconhecimento do profissional, para Eisenberger *et al.* (1986) pode ser transmitido através da preocupação da organização para com os funcionários, preocupando-se com o bem-estar e valorizando o profissional, por meio de elogios e aprovações. Os autores citam que quando ocorre a valorização,

o trabalhador incorpora a organização e desenvolve um vínculo emocional positivo. Conforme Formiga *et al.* (2021, p.10) quando:

“Os profissionais ao atuarem em organizações que estimulam ações de reconhecimento e valorização das práticas profissionais, incentivam a construção de relacionamentos, interações, conexões e compartilhamento de experiências entre sujeitos, motivando o indivíduo a atuar de forma criativa e inovadora”.

Essa concepção abordada parte do direcionamento de que o trabalho da sentindo a existência humana e é um dos meios de contato social, que pode através do mérito e dedicação a carreira, elevar a autoestima do profissional (Formiga *et al.*, 2021).

Oliveira *et al.* (2021) nessa direção apontam que o suporte organizacional favorece a interação social e a qualidade de vida, e consequentemente o indivíduo mantém-se em um contexto organizacional saudável, influenciando assim em aspectos positivos. Dessa forma a seguir será abordado características que impactam o contexto de trabalho e a qualidade de vida do trabalhador.

O artigo 225 da constituição federal de 1988 preconiza que a qualidade de vida é um direito, e que o meio ambiente deve estar em equilíbrio e sadio para o uso comum da população (Brasil, 2016). O artigo ainda aponta que é dever do poder público e da coletividade “defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Brasil, 2016, p. 131).

Nesta direção, Sampaio (2012) afirma que a qualidade de vida relacionada ao contexto de trabalho está caracterizada por uma conjunção que está desde as percepções, opiniões, autopercepções que o sujeito mensura.

Sampaio (2012) também destaca que Richard Walton compreende a qualidade de vida no trabalho por meio de oito dimensões, que podem influenciar diretamente o trabalhador em todas as suas esferas da vida. Que são: compensação adequada e justa, condições de trabalho seguro e saudável, oportunidade de desenvolver as capacidades do trabalhador, desenvolver o crescimento do profissional dentro do trabalho, permitir a integração social, o constitucionalismo, permitir ainda que o trabalhador tenha seu espaço total de vida, além do empregador garantir a relevância do funcionário e significação para o campo laboral.

Conforme Benevenute, Souza e Carvalho (2019), a concepção de qualidade de vida no trabalho deve ser em consonância com elementos que possam influenciar e oferecer ações futuras no ambiente de trabalho e gerem satisfação e bem-estar. Vale salientar, que a qualidade de vida no trabalho deve estar ligada ao compromisso social, a mobilização e o bem-estar do profissional frente a execução de suas atividades e assim fortalecer a efetivação no ambiente laboral (Tsuboi & Rosim, 2022).

Além disso, para manter a qualidade de vida no trabalho se faz necessário que o ambiente de trabalho esteja saudável e produtivo, e que o ambiente organizacional apresente uma dinâmica contingencial, que consiste justamente em fatores físicos, psicológicos, sociológicos e tecnológicos e que promovam o bem-estar do funcionário (Tsuboi & Rosim, 2022; Silva *et al.*, 2022). Ferreira (2015) aborda também que o sentimento de bem-estar dos trabalhadores impacta diretamente na promoção da saúde.

Silva *et al.* (2022) acrescenta que a satisfação do funcionário não está lidada apenas as questões do ambiente laboral, mas também da interferência com a satisfação dos hábitos pessoais e estes podem impactar na qualidade de vida do trabalhador. Os autores mencionam que hábitos positivos para a qualidade de vida do trabalhador “podem estar “relacionados a sono adequado, alimentação saudável e prática de atividade física regular” (Silva *et al.*, 2022, p.56). Carvalho *et al.* (2021) afirma também que trabalhadores satisfeitos podem apresentar melhor produtividade e qualidade de vida favorecendo assim a todos.

MÉTODO

Amostra

Tratar-se-á de uma pesquisa quantitativa, do tipo descritivo e correlacional, envolvendo trabalhadores gerais (público e privado) e os profissionais de distintas funções que trabalham no Sistema Único de Assistência Social (SUAS) do município de Assú, estado do Rio Grande do Norte.

Conforme Alyrio (2009) a pesquisa descritiva tem por finalidade a utilização de técnicas de enumeração e a ordenação de dados. O autor apresenta dentro desse contexto que a linguagem deve ser científica e emitir clareza, de

forma que o leitor acompanhe a linha de raciocínio proposta pelo pesquisador. Assim, conseguiu um progresso lógico a respeito do assunto e da obra.

A abordagem quantitativa tem como base segundo Mendes (2016), quantificar os dados obtidos, de modo, que possa ser analisado sob os vários ângulos, categorias e classificação. Assim como, faz uso do método de análise dos "recursos e de técnicas estatísticas, tais como percentagem, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, entre outros tratamentos estatísticos" (Mendes, 2016, p. 66).

Destarte, a amostra referente foi avaliada através do pacote estatístico *G Power 3.2, software*, o qual é utilizado para calcular o poder estatístico relacionando o '*n*' necessário para a pesquisa e tipo de cálculo a ser realizado (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007).

Para isto, considerou uma probabilidade de 95% ($p < 0,05$), magnitude do efeito amostral ($r^2 = 0,50$) e um padrão de poder hipotético ($1 - \beta = 0,80$) para avaliação da amostra ideal; a partir desses critérios, obteve-se uma amostra de 111 profissionais, entre homens e mulheres de trabalhadores gerais e profissionais que atuem no SUAS no município de Assú, estado do Rio Grande do Norte.

Desta forma, foi considerado o profissional que esteve disponível e interessado em participar da pesquisa, trabalhadores geral e profissionais do Sistema Único de Assistência Social do município de Assú, estado do Rio Grande do Norte e completou o questionário até o final, não deixando respostas em branco, ser funcionário ativo no seu setor de trabalho (seja prestador de serviço ou CLT).

Instrumentos

Os participantes responderão aos seguintes questionários (ver anexo):

Escala de Percepção de Suporte Organizacional (EPSO): Trata-se de uma escala composta por 9 itens, desenvolvida por Eisenberger *et al* (1986) e adaptada e validada para o contexto brasileiro por Siqueira (1995). Esta medida tem por objetivo avaliar o quanto as pessoas (que trabalham em organizações públicas e/ou privadas) percebem que a empresa/organização tem uma preocupação com o bem-estar do empregado. Para mensurar o construto, o respondente deveria indicar a sua resposta, marcando com o item ao qual

corresponde à sua resposta, em uma escala de sete pontos que variava de 1 = discordo totalmente a 7 = concordo totalmente.

Em relação à confiabilidade da escala, no pioneiro estudo de Siqueira (1995) foi observado que essa medida apresentou um alfa de 0,86, revelando uma consistência interna na mensuração do construto. Também, em uma amostra com trabalhadores brasileiros, tomando como base de orientação para análise psicométrica o estudo de Siqueira (2014), foi que Formiga, Fleury e Souza (2014), desenvolveram uma pesquisa para verificar, através da análise fatorial confirmatória, a consistência da estrutura fatorial da escala; estes autores observaram indicadores psicométricos que garantiram a organização fatorial proposta pelo autor da EPSO ($X^2/df = 1,42$, RMR = 0,02, GFI = 0,99, AGFI = 0,97, CFI = 0,99, TLI = 0,99 e RMSEA = 0,03).

Escala de qualidade de vida (*Medical Outcomes Study* 36. SF-36): Trata-se de um instrumento que tem o objetivo de mensurar a Qualidade de Vida, este apresentou consistência interna satisfatória na pesquisa, o que resultou em um recurso de fácil administração (Ciconelli, 1997). Esse instrumento é constituído por um questionário multidimensional, formado por 36 itens englobados por oito componentes: Capacidade funcional (com dez itens); Aspectos físicos (quatro itens); Dor (dois itens); Estado geral de saúde (cinco itens); Vitalidade (quatro itens); Aspectos sociais (dois itens); Aspectos emocionais (três itens); Saúde mental (cinco itens); e mais uma questão para a avaliação comparativa do estado geral de saúde atual e a de um ano atrás. Os componentes podem ser agrupados em dois sumários, o físico (Capacidade funcional, Aspectos físicos, Dor e Estado geral de saúde) e o mental (Saúde mental, Aspectos emocionais, Aspectos sociais e Vitalidade) (Ciconelli, 1997).

Além desses instrumentos, um questionário com a caracterização socio-demográfica foi incluído (aspectos relacionados a sexo, idade, renda, especialização profissional, tempo de serviço, município que reside, estado civil, setor que trabalha, turno que trabalha, etc.).

Administração da pesquisa e análise de dados

Todos os procedimentos adotados, nesta pesquisa, seguiram as orientações previstas na Resolução 466/2012 do CNS e na Resolução 016/2000 do

Conselho Federal de Psicologia e na Declaração de Helsinki (1964), para as pesquisas com seres humanos e (Conselho Nacional de Saúde [CNS], 2012; Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Psicologia [ANPEPP], 2000); que foi submetido ao CONEP na Plataforma Brasil, CAAE: 84085624.6.0000.5296, o instrumento da pesquisa foi aplicado em trabalhadores gerais e nos profissionais do Sistema Único de Assistência Social (SUAS) do município de Assú, estado do Rio Grande do Norte, de forma individual, através de um formulário eletrônico hospedado no google.docs.

De acordo com a disponibilidade do tempo e espaço físico dos respondentes em seus setores de trabalho ou fora dele, os mesmos, foram convidados a participar de forma voluntária, anônima e privada em responder o questionário eletrônico, o qual foi encaminhado para o e-mail, redes sociais, etc.

Na qual, foi informado aos que desejavam participar, quando acessaram o endereço da pesquisa, que a pesquisa era anônima e sigilosa, podendo desistir a qualquer momento e sem prejuízo algum para ele ou para o pesquisador.

Para aplicação do instrumento, a autora da pesquisa (com experiência prévia na pesquisa), ficou disponível, no e-mail e telefone celular, sem custo para o participante, durante todo o momento da aplicação do instrumento, condição essa que tinha como referência, esclarecer as dúvidas e possíveis incompreensões do instrumento. Um tempo médio de cinco minutos foi suficiente para a conclusão das respostas no instrumento.

Em relação à análise dos dados, foi utilizado o pacote estatístico *SPSSWIN*, em sua versão 25.0, para tabular os dados e realizar as análises estatísticas descritivas, inferenciais e os cálculos referentes correlação de Pearson, teste t de *Student*, alfa de Cronbach e qui-quadrado.

RESULTADOS

Este artigo teve como objetivo central avaliar a relação entre a percepção do suporte organizacional e qualidade de vida em trabalhadores em distintas funções laborais e profissionais do sistema único de assistência social (SUAS) do município de Assú, no estado do Rio Grande do Norte; inicialmente, foi realizada um conjunto de análises estatísticas com vistas em avaliar a qualidade da amostra referente a normalidade e multicolineariedade e em seguida indicadores

psicométricos destinadas à avaliação da confiabilidade das medidas escalares de cada construto utilizadas nesta pesquisa.

A amostra final do estudo foi composta por 111 trabalhadores do SUAS, com idade variando de 19 a 63 anos (Média = 34,94; d.p. = 8,87), com 81% do sexo feminino, 47% solteiro, 30% com um nível educacional superior e 27% tendo especialização; referente ao tempo de serviço, mais 48% têm entre 1 e 5 anos de serviço e 32% de 6 a 24 anos, 76% têm apenas um vínculo, com 60% trabalhando manhã e tarde e 33% atuam no CRAS.

Em relação a situação de trabalho, 58% acreditam que tem acumulação de trabalho, com 58% relatando sentir dores no corpo devido à acumulação; para os participantes, 83% não precisou recorrer à algum tratamento psiquiátrico e também, 83% não fez ou faz tratamento de psicoterapia. 66% deles faz alguma atividade física, com 44% fazendo três ou mais vezes por semana.

Com base nestas características sociodemográficas, verificou-se a multicolineariedade, tendo avaliada através das correlações entre as variáveis, as quais apresentaram correlação $< 0,90$, estas variaram de 0,28 a 0,57. Tal condição, de acordo com a orientação dos parâmetros definidos por Tabachnick e Fidell (2001), indica que não existiu alto grau de correlação, o que permite gerar modelos com baixo erro. Também, foi avaliado aos outliers multivariados através do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (KS), destinado para amostras superiores a 100 sujeitos, observando indicadores que sugerem uma normalidade amostral ($KS = 1,13$; $p < 0,46$).

Sendo a referida amostra normal, procurou-se verificar a confiança das medidas abordados nesta dissertação, optou-se em avaliá-las para verificar a consistência psicométrica delas. A importância em avaliar essa condição diz respeito a garantia do conceito do construto e da pretensão de sua medida (cf. Hair, Anderson, Tatham, & Black, 2008).

De acordo com Formiga, Franco e Nascimento (2020), o uso destes indicadores psicométricos destinados à consistência da avaliação dos construtos nos participantes das pesquisas, contribui para o conhecimento dos índices alfas com foco na temporalidade e contextualização das mesmas medidas administradas em novas amostras, garantindo com isso, a qualidade teórica e empírica dos instrumentos de avaliação psicológica e da proposta levantada pelo pesquisador que desenvolveu a escala.

O alfa de *Cronbach* (α) tem sido utilizado, tradicionalmente para verificar a consistência de um instrumento no contexto amostral administrado, devendo ser ³ 0,70, mas, também, valores até 0,60 são aceitáveis, com algumas ressalvas (Pasquali, 2011; Hutz, Bandeira, & Trentini, 2015). Na produção científica brasileira, estas medidas vêm sendo avaliada de forma contínua em trabalhadores, mas, nenhuma delas ainda foi administrada no tipo de amostra coletada para esta dissertação.

Para isso, tomou-se com o orientação de análise as propostas fatoriais estabelecidas, previamente, pelos autores (SF-36: Ware & Sherbourne, 1992; Jenkinson, Layte, Lawrence, 1997; Bowling, Bond, Jenkinson, & Lamping, 1999; Silqueira, 2005; Campolina & Ciconelli, 2008; Lima, Barros, César, Goldbaum, Carandina, & Ciconelli, 2009; Laguardia, Campos, Travassos, Najar, Anjos, & Vasconcellos, 2011; Laguardia, Campos, Travassos, Najar, Anjos, & Vasconcellos, 2013; Laguardia, Campos, Flor, & Portugal, 2016; Escala de Percepção de Suporte Organizacional (SOrg), segue as direções de Eisenberger *et al* (1986), Siqueira (1995) e recentemente, por Formiga, Fleury e Souza (2014) e Formiga, Miranda, Araújo, Pastana e Mafra (2018), quanto a unifatorialidade.

No pacote estatístico SPSSWIN 25, efetuou-se o cálculo do alfa de Cronbach e na tabela 1, observou-se que os alfas estiveram acima de 0,70 para todas as escalas avaliadas na dissertação, garantindo que a medida é consistente. É possível afirmar, com esses resultados, que as escalas utilizadas mensuram de forma homogênea a relação conceito-medida proposta pelos autores das referidas medidas.

No que diz respeito à manutenção dos escores na variação dos alfas (V), eles permaneceram próximos aos alfas já observados, o que confirma ser homogêneos a este indicador mesmo quando se indicar a necessidade de exclusão de itens que interferiram na qualidade das medidas.

Também foi considerado o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC, em inglês), o qual revelou escores com um intervalo de confiança compatível ao estabelecido na literatura estatística e que, encontraram-se em intervalos próximos aos observados no *alfa de Cronbach* (α), condição essa, que garante a confiabilidade das medidas na amostra avaliada para futuros estudos.

Tabela 1: Escores dos alfas de Cronbach (a) das escalas.

Construtos/ Variáveis	Alfa de Cronbach			ICC (IC 95%)
	ageral	Valtem excluído	F Friedman	
SOrg	0,87*	0,83-0,90	25,13*	0,87* (0,86-0,89)
SF-36 (QV)	0,81*	0,79-0,85	28,62*	0,81* (0,80-0,85)
Domínio Físico	0,79*	0,75-0,81	24,19*	0,79 (0,77-0,82)
Domínio Mental	0,82*	0,80-0,87	31,78*	0,82* (0,80-0,88)

Notas: SOrg = Suporte Organizacional; DASS-21 = pontuação total do transtorno emocional comum; SF-36 = Qualidade de vida; Va = Variação alfa quando o item for excluído; F = Teste de Friedman; ICC = Correlação intraclasse. * p < 0,001.

Confirmada que as medidas utilizadas são confiáveis, capaz de tanto ser administrada na amostra de trabalhadores do SUAS, quanto é passível de avaliação dos construtos do Suporte Organizacional, Qualidade de vida e suas respectivas dimensões. A partir destes achados, atendeu ao objetivo principal do estudo (verificar a relação entre suporte organizacional e qualidade de vida em trabalhadores do SUAS no Estado do Rio Grande do Norte).

Sendo assim, efetuou-se o cálculo de correlação de Pearson entre as variáveis, para as quais, destacam-se que a percepção do suporte organizacional se relacionou, positivamente significativa com o Domínio físico (DM QV) e Domínio Mental da qualidade de vida (DM QV); respectivamente, nas dimensões de cada domínio, houve uma relação positiva com CF e AF e negativa com DOR e EGS, positivamente, com SM e AE e negativa com AS e VIT.

Em termos gerais, faz-se necessário destacar que na avaliação dessas correlações, quando na existência de correlações positivas existem, estas, referem-se à capacidade de influência entre as variáveis, contribuindo de forma positiva em relação a definição abordada no construto em geral e/ou nas especificidades das suas dimensões. No que diz respeito a correlação negativa, ao contrário, elas influenciam inversamente. Com isso, aqueles que apresentarem tais correlações, poderão ser destacados de forma inferencial, provavelmente, o sujeito que tem maior ou menor escores nas variáveis.

Tabela 2: Correlação de Pearson (r) entre suporte organizacional e qualidade de vida com os profissionais do SUAS.

Variáveis/ Construto	SOrg	SF-36	DF	CF	AF	DOR	EGS	DM	SM	AE	ATIV SOC	AS	VIT
Percepção do su- porte organizacio- nal (SOrg)	---												
SF36(QVtotal)	0,36*	---											
DF QV	0,37*	0,70*	---										
CF	0,15*	0,35*	0,30*	---									
AF	0,15*	0,32*	0,35*	0,32*	---								
DOR	-0,26*	0,35*	0,42*	-0,27*	-0,21*	---							
EGS	-0,14*	0,38*	0,25*	0,35*	0,26*	-0,21*	---						
DM QV	0,28*	0,34*	0,30*	0,31*	0,31*	-0,25*	0,37*	---					
SM	0,16*	0,25*	0,33*	0,29*	0,27*	-0,19*	0,34*	0,31*	---				
AE	0,22*	0,41*	0,28*	0,33*	0,32*	-0,15*	0,29*	0,25*	0,31*	---			
ATIVSOC	-0,03	0,50*	0,35*	0,28*	0,29*	-0,23*	0,31*	0,22*	0,19*	0,34*	---		
AS	-0,23*	0,25*	0,41*	0,25*	0,35*	-0,29*	0,27*	0,25*	0,24*	0,25*	0,36*	---	
VIT	-0,26*	0,20*	0,36*	0,24*	0,21*	-0,18*	0,31*	0,20*	0,26*	0,22*	0,38*	0,37	---

Nota: * p < 0,01. CF = Capacidade Funcional; AF = Aspectos Físicos; DOR = Dor; EGS = Estado Geral de Saúde; SM = Saúde Mental; AF = Aspectos Físicos; AS = Aspectos Sociais; AE = Aspectos Emocionais; VIT = Vitalidade; EADRT = Danos Relacionados ao Trabalho (pontuação total). DF = Domínio Físico; DM = Domínio Mental.

A partir destas análises correlacionais entre as variáveis, realizou-se uma ANOVA On-way, comparando a pontuação média das respostas dos participantes nas variáveis do suporte organizacional e dimensões da QV em relação as variáveis setor de trabalho, crença na acumulação da função de trabalho e tratamento psiquiátrico e psicoterápico. Na tabela 2, é possível observar que a distribuição dos escores médios do suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função do setor de trabalho, os quais, não apresentaram resultados significativos.

Tabela 2: Análise de variância entre o suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função do setor de trabalho.

Variáveis	Setor de trabalho	Média	d.p.	Estatística	
				F Friedman /gl	p-valor
Suporte Organizacional	CRAS	28,1515	5,19688	0,68/105	0,64
	CREAS	25,8333	2,31661		
	Outra função assistência	29,2727	4,94909		
	Outro setor assistência	28,7826	5,44357		
	Secretaria Assistência	26,9091	7,24506		
	Total	28,1900	5,33086		
Domínio físico	CRAS	51,0000	5,45011	0,36/105	0,87
	CREAS	52,0000	5,54977		
	Outra função assistência	50,7143	6,68687		
	Outro setor assistência	51,6000	3,66204		
	Secretaria Assistência	52,9000	7,37036		
	Total	51,2697	5,51602		
Domínio mental	CRAS	15,1935	2,38634	1,33/105	0,26
	CREAS	14,6667	1,96638		
	Outra função assistência	14,5909	2,23945		
	Outro setor assistência	14,0435	2,03332		
	Secretaria Assistência	14,7000	1,15950		
	Total	14,5938	2,20801		

Na tabela 3 são apresentados os resultados da análise de variância suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função da crença na acumulação das atividades funcionais; nesta tabela pode-se observar que os resultados significativos estiveram apenas para a variável percepção do suporte organizacional, condição que revelam um apoio da organização com os respondentes, pois, eles revelaram maiores escores referente a não acumulação de função.

Tabela 3: Análise de variância entre o suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função da crença na acumulação das atividades funcionais.

Variáveis	Acreditas que acumulas funções no ambiente de trabalho	Média	d.p.	Estatística	
				F Friedman /gl	p-valor
Suporte Organizacional	SIM	27,02	5,69	4,34/105	0,05
	NÃO	29,00	4,99		
	Total	28,19	5,35		
Domínio físico	SIM	50,71	6,77	0,71/105	0,87
	NÃO	51,72	4,14		
	Total	51,28	5,54		
Domínio mental	SIM	14,51	2,28	0,28/105	0,26
	NÃO	14,75	2,05		
	Total	14,65	2,14		
	NÃO	35,05	14,39		
	Total	38,28	15,93		

Na tabela 4 estão os resultados das análises entre suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função da realização de um tratamento psicoterápico e/ou psiquiátrico; nesta, em relação ao tratamento psicoterápico, mesmo aqueles que não fazem o tratamento, pontuaram mais alto na percepção do suporte organizacional, enquanto aqueles que fazem tratamento psicoterápico, pontuaram mais alto na variável do suporte.

Tabela 4: Análise de variância entre o suporte organizacional e domínios da qualidade de vida em função da realização de um tratamento psicoterápico e/ou psiquiátrico.

Variáveis	Realiza algum tratamento de psicoterapia	Média	d.p.	Estatística	
				F Friedman /gl	p-valor
Suporte Organizacional	SIM	25,37	6,07	5,48/105	0,05
	NÃO	28,72	5,06		
	Total	28,18	5,35		
Domínio físico	SIM	51,92	6,00	0,20/105	0,65
	NÃO	51,17	5,49		
	Total	51,28	5,54		
Domínio mental	SIM	14,78	1,71	0,06/105	0,86
	NÃO	14,62	2,21		
	Total	14,65	2,14		

Variáveis	Realiza algum tratamento de psicoterapia	Média	d.p.	Estatística	
				F Friedman /gl	p-valor
Variáveis	Realiza algum tratamento de psiquiatria	Média	d.p.	Estatística	
				F Friedman /gl	p-valor
Suporte Organizacional	SIM	26,87	5,54	1,31/105	0,29
	NÃO	28,43	5,31		
	Total	28,13	5,35		
Domínio físico	SIM	51,61	5,04	0,05/105	0,82
	NÃO	51,22	5,68		
	Total	51,28	5,54		
Domínio mental	SIM	13,78	1,76	2,74/105	0,10
	NÃO	14,80	2,17		
	Total	14,65	2,15		
	NÃO	35,36	13,89		
	Total	38,28	15,93		

DISCUSSÃO

O objetivo principal desta pesquisa foi verificar como os profissionais do Sistema Único de Assistência Social do município de Assú-RN, e os trabalhadores em geral sofrem influência da percepção do suporte organizacional e qualidade de vida.

Conforme os objetivos e os resultados apresentados acima, o estudo obteve medidas consistentes e com isso podemos afirmar que os respondentes da referida amostra, compreenderam o conteúdo das escalas administradas de maneira segura e confiável.

Destarte, os resultados demonstram que o suporte organizacional representa aspectos positivos e significativos entre domínio físico e domínio mental, na sua relação com a qualidade de vida, ou seja, quanto maior o suporte organizacional, melhor a qualidade de vida.

Neste sentido, pode-se compreender que os trabalhadores da referida amostra percebem que o ambiente de trabalho no qual estão inseridos atende suas necessidades e que elas são validadas pela organização a qual faz parte. Que de acordo com Oliveira *et al.* (2021) quando a organização oferta apoio aos trabalhadores, estes terão menos danos laborais. E o profissional manterá uma

relação compartilhada com a organização, tendo seus desejos e necessidades atendidas de forma mútua (Paula *et al.*, 2021).

Nesta direção, também é compreendido que a organização possivelmente tem influenciado positivamente na qualidade e na produtividade, o que repercute em um ambiente positivo (Carvalho *et al.*, 2021).

Formiga, Paula e Silva (2022) abordam que o suporte organizacional pode representar na vida do trabalhador um dos fatores cruciais de preservação da saúde emocional e melhorar a produtividade da organização, de maneira que ambos sejam favorecidos. Os autores supracitados, ainda relacionam que o suporte organizacional integrado a saúde emocional, pode consistir numa relação positiva e a falta do suporte organizacional representa fatores negativos, que pode levar o trabalhador ao adoecimento, afastamento e entre outras situações. Eisenberger, Shanock e Wen (2020) acrescentam também que o apoio organizacional favorável, podem gerar emoções positivas no contexto de trabalho.

Os trabalhadores do Sistema Único de Assistência Social, que integram essa amostra são apontados por os autores Guimarães, Oliveira e Silva (2020) como profissionais que estão frente as situações de vulnerabilidade, que são as dificuldades que os usuários enfrentam com relação a precariedade de renda ou ausência dela, a fragilização dos vínculos familiares e comunitários e entre outros, podendo assim estarem expostos ao sofrimento, dor e consequentemente a própria ineficiência do sistema. Que Motta, Brandolt e Pizzinato (2021) caracterizam como uma política que representa a flexibilização, a precarização e a desregulamentação.

Diante disto, é possível perceber que por mais que estes trabalhadores estejam frente as vulnerabilidades sociais, demandadas pela função que exerce no setor público, o suporte organizacional desempenha um fator que auxilia na manutenção da saúde mental e física. Vale mencionar, que Formiga *et al.* (2019), afirmaram que métodos de intervenção com vistas ao treinamento e desenvolvimento de pessoas aplicados ao contexto de trabalho podem auxiliar justamente na manutenção da saúde mental e física do trabalhador. Formiga *et al.* (2020) apresentam que é através do suporte organizacional e da gestão do conhecimento que se pode influenciar aspectos motivacionais, por meio do investimento emocional positivo no contexto laboral e assim fortalecer a produtividade saudável e diminuir o impacto emocional negativo.

O investimento emocional positivo, pode consistir em estímulo por parte da organização através da motivação, a atuação criativa e inovadora, assim como o reconhecimento do profissional e a valorização do desempenho do trabalhador no contexto de trabalho (Formiga *et al.*, 2021). Tomayo e Tróccoli (2002) ainda acrescentam que quando a chefia valoriza e incentiva os trabalhadores, de forma participativa e colaborativa, diminui a exaustão emocional que é demandada pela organização.

Desta forma, quando a organização e o gestor (chefia) ofertam apoio e um vínculo laboral positivo, o ambiente de trabalho funciona de forma a favorecer um ambiente mais saudável e os profissionais apresentam menos danos referentes as demandas do contexto de trabalho (Formiga *et al.*, 2020; Paula *et al.*, 2021; Formiga *et al.*, 2021). Sendo assim, por mais que o contexto de trabalho apresente situações relacionadas ao sofrimento, dor e até a ineficiência do setor público, como é o caso dos profissionais do Sistema Único de Assistência Social (Guimarães, Oliveira & Silva, 2020), o construto do suporte organizacional é capaz de atuar como fator de proteção das influências negativas do ambiente de trabalho.

Além disso, de acordo com Pena e Romoaldo (2019), a criação de estratégias no contexto organizacional pode ser um método que favorece tanto no sentido individual como coletivo, para que o funcionário lide com o sofrimento demandado pelo trabalho e consiga se realizar e encontrar prazer, sendo fator de equilíbrio face ao sofrimento. Nesta perspectiva, pode-se perceber que quando se tem o suporte organizacional percebido (apoio e vínculo laboral) e chefias que favorecem um ambiente saudável e criativo, as demandas podem ser significadas e ressignificadas de forma prazerosa e menos dolorida.

Vale salientar, que apesar dos trabalhadores do SUAS lidarem com um público vulnerável, possivelmente a coordenação (chefias) tem proporcionado aos trabalhadores espaço para cuidarem de questões pessoais, saúde ou mesmo permitem que tenham espaço para sugestões e mudanças na própria rotina de trabalho, sendo esse fator que influencia positivamente a qualidade de vida desses trabalhadores.

Haja visto, que autores como Formiga *et al.* (2021) afirmam que criar vínculo e ter apoio da organização diminui os adoecimentos no ambiente de trabalho. Oliveira *et al.* (2021) ainda acrescentam que quando a organização reconhece o

limite do trabalhador e reconhece o seu trabalho e sua capacidade funcional, é um fator importante de interferência da dor e de prejuízos ao corpo do indivíduo.

REFERÊNCIAS

ALYRIO, R. D. *Métodos e técnicas de pesquisa em administração*. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

ARAÚJO, A. L. et al. Avaliação da qualidade de vida no trabalho de docentes universitários. *Revista de Enfermagem do Centro-Oeste Mineiro*, v. 9, 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA. Contribuições para a discussão das Resoluções CNS nº 196/96 e CFP nº 016/2000. Disponível em: http://www.anpepp.org.br/XIISimposio/Rel_ComissaoEticasobre_Res_CNS_e_CFP.pdf. Acesso em: 25 mar. 2025.

BENEVENUTE, J. M. N.; SOUZA, S. A. D.; CARVALHO, Â. M. D. A. A. Qualidade de Vida no Trabalho: a percepção dos servidores públicos. *Org & Demo*, v. 20, n. 1, p. 45-66, 2019.

BRASIL. Política Nacional de Assistência Social. *PNAS*, 2004.

BRASIL. *Lei Orgânica da Assistência Social (LOAS)*. 2. ed., 2015.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil 1988*. Brasília, DF: 2016.

CAMPOS, W. Y. Y. Z.; CAVAZOTTE, F. D. S. C. N. Controle burocrático e suporte organizacional no setor público: efeitos mediados pelo empoderamento psicológico no engajamento. *Revista de Administração Pública*, v. 57, e2022-0301, 2023.

CARVALHO, A. C. R. D. et al. A qualidade de vida de enfermeiros intensivistas através do instrumento SF-36. *Revista Online Pesquisa (Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Online)*, p. 607-611, 2021.

CICONELLI, R. M. Tradução para o português e validação do questionário genérico de avaliação de qualidade de vida "Medical Outcomes Study 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36)". 1997. 193 f. Tese (Doutorado em Medicina) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1997.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE – CNS. Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos. 2012. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2012/Reso466.pdf>.

EISENBERGER, R. et al. Perceived organizational support. *Journal of Applied Psychology*, v. 71, n. 3, p. 500, 1986.

EISENBERGER, R.; SHANOCK, L. R.; WEN, X. Perceived organizational support: Why caring about employees counts. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, v. 7, n. 1, p. 101-124, 2020.

FAUL, F. et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, v. 39, p. 175-191, maio 2007. DOI: <10.3758/BF03193146>.

FERREIRA, M. C. Ergonomia da Atividade aplicada à Qualidade de Vida no Trabalho: lugar, importância e contribuição da Análise Ergonômica do Trabalho (AET). *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 40, p. 18-29, 2015.

FORMIGA, N. S. et al. Transtorno emocional leve em trabalhadores: Verificação de um modelo teórico a partir do suporte organizacional, gestão do conhecimento e capital psicológico positivo. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e580997597, 2020.

FORMIGA, N. S. et al. Organizational support, social capital and innovative attitudes: A correlational study among workers in the city of Natal-RN. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, e55710313753, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13753>.

FORMIGA, N. S. et al. Suporte organizacional, engajamento e espiritualidade no trabalho: verificação empírica de um modelo teórico concorrente em organizações brasileiras. *Boletim - Academia Paulista de Psicologia*, v. 39, n. 97, p. 247-259, 2019.

FORMIGA, N. S. et al. Suporte organizacional, capital social e atitudes inovadoras: Um estudo correlacional em trabalhadores na cidade de Natal-RN. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, e55710313753, 2021.

FORMIGA, N. S. et al. Correlatos e variações na percepção do suporte organizacional e gestão do conhecimento em trabalhadores de organizações públicas e privadas em Natal-RN. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 2, n. 4, e24213, 2021.

FORMIGA, N. S. et al. Predição do transtorno emocional em trabalhadores a partir do suporte organizacional e assédio moral no trabalho. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, e34010716720, 2021.

FORMIGA, N. S.; PAULA, N. H. M. M.; SILVA, A. K. L. Suporte organizacional e danos relacionados ao trabalho: um estudo correlacional com trabalhadores brasileiros. *Revista de Carreiras e Pessoas*, v. 12, n. 2, p. 280-302, 2022.

FORMIGA, N.; FLEURY, L. F. O.; SOUZA, M. A. Evidências de validade da escala de percepção de suporte organizacional em funcionários de empresa pública e privada. *Estudos Interdisciplinares em Psicologia*, v. 5, n. 2, p. 60-76, 2014.

GAIER, A. F. et al. Qualidade de vida no trabalho: uma análise sobre a percepção dos colaboradores da cooperativa Camnpal. *Revista de Gestão e Organizações Cooperativas*, v. 7, n. 13, 2020.

GUIMARÃES, A. P. D.; OLIVEIRA, H.; SILVA, J. M. D. Violência relacionada ao trabalho e apropriação da saúde do trabalhador: sofrimento anunciado no Sistema Único de Assistência Social. *Physis: Revista de Saúde Coletiva*, v. 30, e300224, 2020.

MENDES, E. D. C. *Métodos e técnicas de pesquisa*. Centro de Ensino Superior Fabra, 168 p., 2016.

MOTTA, R. F.; BRANDOLT, C. R.; PIZZINATO, A. Trabalhadoras(es) do SUAS: Quem são as(os) Psicólogas(os) da Proteção Social Básica (PSB). *Psicologia: Ciência e Profissão*, v. 41, e193409, 2021.

OLIVEIRA, H. C. C. et al. Estudo correlacional entre suporte organizacional, danos relacionados ao trabalho e qualidade de vida em trabalhadores brasileiros. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, e36810817380, 2021.

OLIVEIRA-CASTRO, G. A.; PILATI, R.; BORGES-ANDRADE, J. E. Percepção de suporte organizacional: desenvolvimento e validação de um questionário, 1999.

PAULA, N. H. M. M. et al. Quanto melhor vínculo eu tenho com minha organização, mais saudável estou! Correlatos entre suporte organizacional e danos relacionados ao trabalho. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, e15710615323, 2021.

PENA, L.; REMOALDO, P. Psicodinâmica do Trabalho: um estudo sobre o prazer e o sofrimento no trabalho docente na Universidade Óscar Ribas. *Saúde e Sociedade*, v. 28, p. 147-159, 2019.

SAMPAIO, J. D. R. Qualidade de vida no trabalho: perspectivas e desafios atuais. *Revista Psicologia Organizações e Trabalho*, v. 12, n. 1, p. 121-136, 2012.

SILVA, F. X. et al. Qualidade de vida no trabalho de docentes em tempos de distanciamento social. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 20, n. 1, p. 55-64, 2022.

SIQUEIRA, M. M. M. Antecedentes do comportamento de cidadania organizacional: a análise de um modelo pós-cognitivo. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1995.

SOARES, I. et al. Escala de qualidade de vida (EQV): evidências psicométricas de medida em adultos. *Psicologia, Saúde & Doenças*, v. 20, n. 2, p. 328-347, 2019.

TAMAYO, M. R.; TRÓCCOLI, B. T. Exaustão emocional: relações com a percepção de suporte organizacional e com as estratégias de coping no trabalho. *Estudos de Psicologia (Natal)*, v. 7, p. 37-46, 2002.

TSUBOI, R. M. N.; ROSIM, D. A qualidade de vida no trabalho e a saúde ocupacional dos docentes da Universidade Federal de Goiás. *Revista de Gestão e Avaliação Educacional*, v. e69171, p. 1-15, 2022.

PREVALÊNCIA E FATORES DE RISCO DE INFEÇÕES DO TRATO URINÁRIO RELACIONADAS COM O CATETER VESICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Ana Luísa Esteves Fernandes

Instituto Politécnico de Bragança (IPB)

Júlia Gabriela Aguiar Santos Almeida

Instituto Politécnico de Bragança (IPB)

Leonel São Romão Preto

Instituto Politécnico de Bragança (IPB)

RESUMO

Introdução: As infecções do trato urinário associadas ao cateter vesical (CAUTIs) são um problema hospitalar comum, elevando custos e comprometendo a recuperação dos pacientes. A resistência antimicrobiana exige abordagens preventivas baseadas em evidências. **Objetivo:** Determinar a prevalência de infecções do trato urinário associadas ao uso do cateter vesical em pacientes internados e identificar os principais fatores de risco descritos na literatura científica. **Metodologia:** Realizou-se uma revisão sistemática segundo a metodologia PRISMA, abrangendo artigos de 2019 a 2024. A pesquisa nas bases *PubMed* e *Web of Science* utilizou expressões booleanas com os termos "Catheter-associated Urinary Tract Infection", "Prevalence", "Risk Factors" e "Hospital Setting". Após critérios de inclusão e exclusão, seis artigos foram selecionados para análise. **Resultados:** A prevalência das CAUTIs associou-se ao uso prolongado de cateteres, higiene inadequada e fatores como idade avançada e comorbidades. Entre 10% e 25% dos pacientes desenvolvem CAUTIs, chegando a 28% em Cuidados Intensivos. Estratégias preventivas, como a inserção asséptica, remoção precoce dos cateteres e uso de dispositivos antimicrobianos, reduziram a incidência. **Conclusão:** A revisão destacou a importância da formação contínua, protocolos padronizados e uso racional de antibióticos para reduzir as CAUTIs. A combinação de práticas clínicas e inovação tecnológica é essencial para mitigar este problema.

Palavras-chave: infecções urinárias; cateteres urinários; prevenção; resistência a antibióticos.

INTRODUÇÃO

As infecções do trato urinário (ITU) são das mais frequentes, afetando milhões de pessoas anualmente. Ocorrem quando bactérias, sobretudo *Escherichia coli*, colonizam o trato urinário, podendo atingir a uretra, bexiga ou rins. São classificadas como superiores (pielonefrite) ou inferiores (cistite e uretrite) (Kranz *et al.*, 2020).

As ITU são um relevante problema de saúde pública, especialmente nos cuidados hospitalares, devido à sua alta prevalência e complicações. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), representam cerca de 40% das infecções nosocomiais (WHO, 2011). Particularmente as ITU associadas a cateteres vesicais aumentam significativamente a morbidade, a mortalidade e os custos de saúde.

O uso prolongado de cateteres vesicais eleva significativamente o risco de infecção, sendo estimado que 15% a 20% dos pacientes internados necessitem de um cateter urinário durante a hospitalização (Lobão & Sousa, 2016). Além disso, as ITU estão associadas a internamentos prolongados, aumentando os custos em saúde e contribuindo para a resistência antimicrobiana devido ao uso indiscriminado de antibióticos (Jain *et al.*, 2020).

A resistência antimicrobiana é um desafio crescente nas ITU, especialmente nas associadas a cateteres vesicais. O uso indiscriminado e prolongado de antibióticos favorece bactérias resistentes, como *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae*, comuns em hospitais. Essa resistência dificulta o tratamento, aumentando a mortalidade e exigindo terapias mais invasivas e dispendiosas (Snyder *et al.*, 2020).

A prevenção das ITU envolve medidas como a escolha adequada do tipo e tamanho do cateter, a redução do seu uso, a inserção e manutenção asséptica e a remoção precoce, sempre que possível. A formação contínua dos profissionais de saúde, a monitorização dos pacientes algaliados e o cumprimento rigoroso dos protocolos são essenciais. Estudos indicam que intervenções educativas e protocolos padronizados podem reduzir em até 50% a incidência de ITU associadas a cateteres vesicais (Rubi *et al.*, 2022).

O diagnóstico das ITU, especialmente as associadas a cateteres vesicais, envolve desde testes rápidos até análises laboratoriais detalhadas. A urina tipo 1 permite detectar leucocitúria e bacteriúria. No entanto, a urocultura continua

a ser o padrão-ouro, pois identifica com precisão os patógenos e sua sensibilidade antimicrobiana, essencial para tratar infecções complicadas ou recorrentes (Navarro *et al.*, 2020).

O tratamento das ITU baseia-se na administração de antibióticos ajustados ao agente etiológico, geralmente identificados por testes de sensibilidade bacteriana. Para infecções simples, os antibióticos de primeira linha incluem nitrofurantoína, trimetoprim-sulfametoxazol e fosfomicina, devido à sua eficácia (Walker *et al.*, 2016). Em casos graves ou resistentes, o tratamento deve ser orientado pela urocultura, recorrendo-se a aminoglicosídeos ou carbapenemos em infecções persistentes ou multirresistentes (D'Incau *et al.*, 2023).

Além da terapêutica antimicrobiana, a remoção precoce dos cateteres urinários e a adoção de protocolos rigorosos de higiene são essenciais para reduzir infecções associadas ao cateter (D'Incau *et al.*, 2023). Essas medidas minimizam o uso prolongado de antibióticos de largo espectro, diminuindo efeitos adversos e resistência bacteriana.

Tendo em conta o anteriormente referido o presente estudo teve como objetivo determinar a prevalência de infecções do trato urinário associadas ao uso do cateter vesical em pacientes internados e identificar os principais fatores de risco descritos na literatura científica.

METODOLOGIA

Este estudo é uma revisão sistemática da literatura (RSL), um estudo secundário que reúne pesquisas publicadas para responder a uma questão específica. Caracteriza-se por um método rigoroso e estruturado de identificação, seleção, avaliação e síntese das evidências, seguindo protocolos predefinidos para minimizar vieses e garantir a transparência e reprodutibilidade dos resultados (Higgins & Green, 2011).

O estudo objetivou determinar a prevalência de ITU associadas ao uso de cateter vesical em pacientes internados e identificar os principais fatores de risco descritos na literatura. Para isso, serão analisados artigos publicados entre 2019 e 2024 nas bases de dados *Web of Science* e *PubMed*.

Colocou-se a seguinte questão de revisão "Qual a prevalência de infecções do trato urinário associadas ao uso de cateter vesical e quais os principais

fatores de risco identificados na literatura?”, elaborada segundo o modelo PI(C)O. O que apresentamos na tabela 1.

Tabela 1. Formulação da questão de revisão, segundo o Método PI(C)O.

Acrônimo	Definição	Componente da questão
P	<i>Population</i> (População)	Pacientes hospitalizados com infecção do trato urinário relacionada com o cateter vesical
I	<i>Interest</i> (Fenômeno de interesse)	Prevalência de infecções do trato urinário associadas ao uso do cateter vesical e os fatores de risco identificados na literatura
(C)	<i>Comparison</i> (Comparação)	Não aplicável
O	<i>Outcome</i> (Resultados)	Relacionar a prevalência de infecções do trato urinário com o uso de cateter vesical e identificar os principais fatores de risco descritos na literatura

O estudo foi conduzido considerando os critérios de inclusão/ exclusão elencados na tabela 2.

Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão.

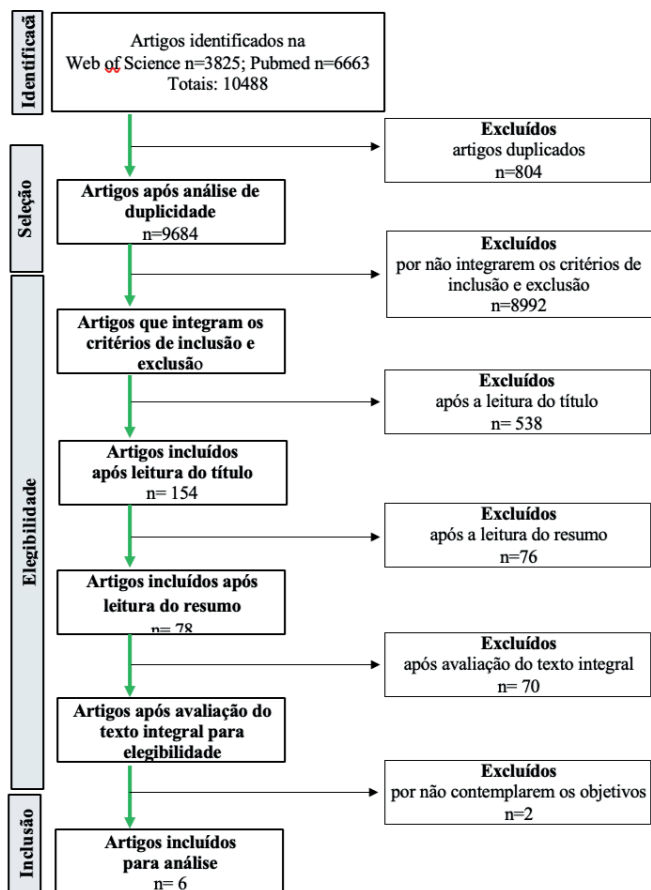
Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
- Artigos publicados nos últimos cinco anos (do ano 2019 a 2024); - Artigos na língua portuguesa e inglesa; - Artigos que envolvam somente humanos; - Artigos que abordem infecções associadas ao cateter vesical em meio hospitalar; - Artigos que mencionem protocolos de prevenção	- Artigos de acesso bloqueado – artigos pagos; - Estudos que discutam infecções urinárias não relacionadas com o uso de cateter vesical; - Estudos realizados fora do ambiente hospitalar; - Estudos que abordem infecções urinárias relacionadas com o uso de cateter vesical em crianças e/ou adolescentes.

A recolha de dados para a elaboração desta investigação foi realizada por meio de duas bases de dados científicas, *Web of Science* e *PubMed* (National Library of Medicine) entre os meses de outubro e novembro de 2024.

Para realizar a pesquisa, utilizamos a estrutura booleana, agrupando as palavras-chave com os operadores “and” (e), “or” (ou) e “not” (não), conforme a estratégia PI(C)O. Os termos foram redigidos em inglês. A pesquisa foi realizada com a combinação: “*Catheter-Associated Urinary Tract Infection*” OR “*Urinary Tract Infection*” AND “*Prevalence*” OR “*Incidence*” OR “*Risk Factors*” AND “*Hospital*” OR “*Hospital Setting*” OR “*Inpatient*”, resultando em 10.488 artigos. Após aplicar os critérios de inclusão e exclusão, refinamos os artigos pela leitura de título, resumo e texto integral, selecionando 6 para análise.

O procedimento de coleta de dados está ilustrado na figura 1.

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção de artigos.



A avaliação do nível de evidência e do grau de recomendação dos estudos selecionados foi realizada utilizando a escala de Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (2009), conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Níveis de evidência e grau de recomendação (Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, 2009).

Grau de recomendação	Níveis de evidência	Análise metodológica
A	1a	Revisões sistemáticas (com homogeneidade interna) de ensaios clínicos aleatorizados
	1b	Ensaio clínico controlado e randomizado
	1c	Resultados de tipo “tudo ou nada”
B	2a	Revisão sistemática (com homogeneidade interna) de estudos de coorte
	2b	Estudos de coorte individuais
	2c	Investigação sobre resultados e estudos ecológicos
	3a	Revisão sistemática (com homogeneidade interna) de estudos de caso-controle
	3b	Estudos individuais de caso controle
C	4	Estudos de série de casos (e também estudos de coorte e caso controle de baixa qualidade)
D	5	Opinião de peritos sem explicação prévia da metodologia de avaliação crítica da evidência, ou baseada em investigação básica (extrapolações)

RESULTADOS

As evidências encontradas em cada estudo serão apresentadas nas tabelas seguintes:

Artigo 1: “Efficacy and safety of preventing catheter associated urinary tract infection by inhibiting catheter bacterial biofilm formation: a multicenter randomized controlled trial” - He, W., Ma, P., Li, L., Wang, D., et al.,2024.

Objetivo(s)	Avaliar a eficácia do JUC Spray Dressing como método inovador de prevenção de infecções urinárias associadas a cateteres (CAUTI), com foco específico na inibição da formação de biofilmes bacterianos em ambiente hospitalar.
Metodologia	Ensaio clínico randomizado, multicêntrico e em dupla ocultação realizado em 6 hospitais na China. Estudo dividido em dois grupos: Grupo JUC (132 doentes): pulverização com JUC Spray Dressing Grupo Placebo (132 doentes): pulverização com solução salina Análise da formação de biofilmes através de métodos microbiológicos e microscopia eletrônica de varrimento (MEV) com ampliação 2000x. Colheita de amostras de urina e cateteres para investigação detalhada.
População	294 pacientes adultos do sexo masculino, idade média de 67,8 (placebo) e 69,6 (JUC) anos, submetidos a cateterismo vesical.
Resultados	Redução significativa da incidência de CAUTI e de formação de biofilme bacteriano: Dia 5: 4% (JUC) vs 23,81% (Placebo) Dia 7: 11,63% (JUC) vs 43,65% (Placebo) Inibição completa de biofilmes no grupo JUC até 5º dia Ausência de efeitos adversos Eficácia comprovada na prevenção de biofilmes sem uso de antibióticos Demonstração de formação de biofilmes em cateteres após 5 dias de uso.
Evidência	1b

Artigo 2: “Chlorhexidine for meatal cleaning in reducing catheter-associated urinary tract infections: a multicentre stepped-wedge randomised controlled trial” Fasugba et al, 2019.

Objetivo(s)	Avaliar a eficácia da solução de cloro-hexidina a 0,1% em comparação com soro fisiológico a 0,9% para a limpeza do meato antes da inserção de cateter urinário, na redução da incidência de bacteriúria assintomática associada ao cateter e infecção do trato urinário (ITU) associada ao cateter.
Metodologia	Ensaio clínico randomizado, multicêntrico, aberto, com desenho em cunha escalonada, realizado durante 32 semanas em 3 hospitais australianos. A intervenção consistiu na utilização de solução de cloro-hexidina a 0,1% para limpeza do meato antes do cateterismo urinário. Os participantes foram acompanhados durante 7 dias após a inserção do cateter e 48 horas após a sua remoção. Os dados foram recolhidos a partir dos registos médicos e da base de dados dos laboratórios de microbiologia.
População	1642 pacientes adultos de 3 hospitais, 697 na fase de controlo e 945 na fase de intervenção. A idade média dos participantes no período de controlo foi de 78 anos e 50 anos no período de intervenção. 58% eram do sexo feminino e 42% do sexo masculino.
Resultados	O uso da solução de cloro-hexidina a 0,1% foi significativamente mais eficaz do que o soro fisiológico a 0,9%. A incidência de bacteriúria assintomática associada ao cateter reduziu de 1,00 para 0,68 casos por 100 dias-cateter (redução de 74%, IRR: 0,26; p=0,026). A incidência de ITU associadas ao cateter diminuiu de 0,45 para 0,17 casos por 100 dias-cateter (redução de 94%, IRR: 0,06; p=0,0008). Não foram registados casos de infecção na corrente sanguínea secundária às ITUs nem eventos adversos relacionados ao uso de cloro-hexidina. Concluiu-se que a solução de cloro-hexidina a 0,1% é uma medida eficaz e segura para prevenir bacteriúria e ITU associadas ao cateter urinário, com potencial para melhorar significativamente a segurança dos pacientes hospitalizados.
Evidência	1b

Artigo 3: “Catheter-associated urinary tract infection: why do not we control this adverse event?” - Mota EC, Oliveira AC, 2019.

Objetivo(s)	Identificar os fatores associados às ITU relacionadas ao uso de cateter vesical em pacientes de UTIs, analisando como o uso inadequado, o tempo de permanência do cateter e outros fatores clínicos influenciam o desenvolvimento dessas infecções, com o objetivo de melhorar a segurança do paciente e reduzir complicações hospitalares.
Metodologia	Estudo epidemiológico, de coorte longitudinal e retrospectivo. Foram incluídos pacientes que usaram cateter vesical por mais de 24 horas, sem diagnóstico prévio de ITU na admissão. A coleta de dados foi feita por meio de prontuários eletrônicos, com critérios do National Healthcare Safety Network (NHSN), avaliando dados demográficos, indicação e prescrição do cateter, tempo de permanência e ocorrência de ITU-AC.
População	Foram incluídos 432 pacientes internados na UTI, dos quais 402 usaram cateter vesical por mais de 24 horas. A média de idade foi 50,6 anos (desvio padrão ±18,8), sendo a maioria (56,7%) do sexo masculino. A maior parte dos pacientes veio do pronto-socorro (43,8%) e as especialidades com mais internamentos foram as cirúrgicas (56,2%), destacando-se neurocirurgia e clínica geral, ambas com 52,2% das admissões.

Objetivo(s)	Identificar os fatores associados às ITU relacionadas ao uso de cateter vesical em pacientes de UTIs, analisando como o uso inadequado, o tempo de permanência do cateter e outros fatores clínicos influenciam o desenvolvimento dessas infecções, com o objetivo de melhorar a segurança do paciente e reduzir complicações hospitalares.
Resultados	A incidência de ITU-AC foi de 4,8 casos por 1.000 cateteres/dia. Fatores significativamente associados à ocorrência de ITU-AC incluem: tempo de permanência do cateter (média de 12,7 dias, $\pm 6,9$; $p < 0,001$), tempo de internamento na UTI (média de 16,7 dias, ± 9 ; $p < 0,001$) e uso de antimicrobianos (média de 8,6 dias, $\pm 6,3$; $p = 0,019$). Identificou-se que 80,6% dos cateteres foram inseridos sem indicação adequada e 86,7% não tinham prescrição para inserção ou manutenção. Os principais agentes etiológicos foram <i>Klebsiella pneumoniae</i> (40%) e <i>Escherichia coli</i> (16%), todos multiresistentes. O estudo evidenciou falhas na documentação e na avaliação contínua da necessidade de manutenção do cateter como fatores críticos para a alta incidência de ITU-AC.
Evidência	2b

Artigo 4: “Infecção urinária em pacientes utilizando cateter vesical de demora internados em uma Unidade de Terapia Intensiva” - Almeida, R. B., Santos, V. L. B., Specht, M. L., da Rosa, L. S., Fernandes, I. N., de Souza, P. B., & Moreira, F. P. (2021)

Objetivo(s)	Avaliar a prevalência de ITU em pacientes de UTI de um hospital no sul do Brasil, investigando a associação com variáveis sociodemográficas, de saúde e uso de cateter vesical, visando melhorar práticas hospitalares e reduzir a prevalência dessas infecções.
Metodologia	Estudo analítico, transversal e retrospectivo, realizado na UTI de um hospital em Pelotas, Rio Grande do Sul, com pacientes adultos internados em 2019. Os dados foram coletados em novembro de 2020, por meio da revisão de prontuários médicos no SAME. Foram analisadas variáveis demográficas, clínicas, resultados de uroculturas e antibióticos utilizados. Consideraram-se ITUs as com uroculturas com crescimento bacteriano $\geq 10^5$ UFC/mL.
População	Foram analisados 140 pacientes da UTI, com média de idade de 58,4 anos ($\pm 16,5$), sendo 52,2% do sexo feminino. As comorbidades mais comuns foram hipertensão (64,3%), neoplasias (46%) e diabetes (25,9%). O uso de cateter vesical foi registrado em 63,6% dos pacientes, com média de permanência de 18,4 dias nos casos de ITU.
Resultados	A prevalência de ITU foi de 62,9%, acima da média (30-40%) para pacientes em UTIs. Pacientes com ITU permaneceram com o cateter por mais tempo (18,4 dias) em comparação aos sem infecção (7 dias, $p < 0,001$). As principais bactérias foram <i>Klebsiella pneumoniae</i> (46,6%), <i>Acinetobacter baumannii</i> (28,4%) e <i>Escherichia coli</i> (18,2%). O tratamento incluiu meropenem (83%), piperacilina + tazobactam (59,1%) e polimixina B (33%). O estudo destaca a necessidade de protocolos padronizados, formação contínua e estratégias para reduzir o uso prolongado de cateteres e a resistência antimicrobiana, especialmente de <i>A. baumannii</i> .
Evidência	2b

Artigo 5: “Cateterização Vesical no Doente Internado: Reduzindo as Complicações Associadas ao Procedimento” - Brigas, D. F., Madeira, M., Abrantes, C., Santos, F., Mendes, G., Marques, S. N., & Pedroso, E. (2020).

Objetivo(s)	Analisar a frequência de cateterização vesical (CV) em pacientes de Medicina Interna, avaliar complicações como ITUs e o impacto da utilização inadequada do cateter na mortalidade intra-hospitalar e aos 30 dias após alta.
Metodologia	Estudo observacional com pacientes adultos submetidos a CV durante o internamento, excluindo casos crônicos e transferidos para outras instituições. Os dados foram coletados de registos clínicos, incluindo informações demográficas, clínicas, diagnósticos de admissão, grau de dependência (índice de Barthel), comorbidades (índice de Charlson) e uso do cateter.
População	193 pacientes foram submetidos à CV (47% dos internados), com média de idade de 80,4 anos, alta dependência funcional (índice de Barthel de 33,6) e significativa comorbidade (índice de Charlson de 5,5). 39,4% foram algaliados sem indicação formal, e 68% dos dias de cateterização foram inapropriados.
Resultados	21,2% dos pacientes desenvolveram ITU associada ao cateter vesical, principalmente por <i>Escherichia coli</i> e <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . Houve 8% de casos de hematúria traumática e 9% de retenção urinária pós-desalgaliação. O diagnóstico de ITU ocorreu, em média, no 14º dia de cateterização. A mortalidade intra-hospitalar foi de 15%, com 13% de mortalidade aos 30 dias após alta. O estudo concluiu que a taxa de CV e o uso inadequado foram superiores aos de estudos semelhantes, recomendando protocolos rigorosos para o uso criterioso do cateter.
Evidência	2c

Artigo 6: “Foley catheter with noble metal alloy coating for preventing catheterassociated urinary tract infections: a large, multicenter clinical trial”- Kai-Larsen Y, Grass S, Mody B, Upadhyay S, Hargovind L, Trivedi, Dilip K, Babu S, Bawari B et al., 2021

Objetivo(s)	Avaliar a eficácia do Cateter Foley BIP revestido com NMA na prevenção de CAUTI sintomática na Índia.
Metodologia	Estudo multicêntrico randomizado e controlado, realizado na Índia, envolvendo pacientes adultos internados em urologia, cirurgia e UTI, que necessitaram de cateterismo vesical por mais de 48h. Pacientes aleatoriamente alocados para receber o cateter Foley BIP revestido ou não revestido (controle), na proporção de 3:1. A vigilância de CAUTI foi feita na entrada, após remoção do cateter e 2 dias depois.
População	1000 pacientes adultos com cateterismo urinário e internamento superior a 48 horas.
Resultados	A incidência de CAUTI foi 69% menor no grupo com cateter Foley BIP em comparação ao grupo controle (taxa de 0,31; $p<0,001$). A redução foi evidente após 3 dias e mantida até 30 dias, com maior queda entre o 3º e 11º dia. Não houve efeitos adversos graves e a taxa de múltiplos efeitos adversos foi significativamente menor no grupo Foley BIP (21,6% vs. 48,4%; $p=0,001$). Conclui-se que o cateter Foley BIP revestido foi eficaz na redução de CAUTI.
Evidência	1b

DISCUSSÃO

A presente revisão sistemática revelou uma elevada prevalência de ITU relacionada com o cateter vesical (ITU-CV), mesmo com avanços tecnológicos

e protocolos de prevenção, destacando-se como uma complicação frequente e um problema de saúde pública relevante.

Os estudos analisados apontam variações na prevalência de ITU-CV conforme o contexto clínico, perfil dos pacientes e estratégias preventivas. De um modo geral, 10% a 25% dos pacientes com cateter vesical desenvolvem infecção. He *et al.* (2024) relatam prevalência entre 10% e 25% em diferentes unidades hospitalares, enquanto Mengistu *et al.* (2023) indicam 14% a 18% em pacientes com cateterização prolongada. Kranz *et al.* (2020) e Fasugba *et al.* (2019) confirmam taxas de 15% a 20%, influenciadas pelo tempo de uso do cateter e pela condição clínica dos pacientes.

Em UTIs as taxas de ITU-CV são ainda mais elevadas. Almeida *et al.* (2021) relataram uma prevalência de 28%, refletindo a gravidade clínica, imunossupressão e necessidade de intervenções prolongadas. Stamm e Coutinho (2018) observaram que, em hospitais com infraestrutura precária ou baixa adesão a protocolos, a prevalência pode chegar a 30%. Além disso, estudos indicam que o risco aumenta com o tempo de cateterização, podendo ultrapassar 50% após 30 dias (Kranz *et al.*, 2020).

A duração do uso do cateter é o principal fator de risco para ITU-CV. Mota e Oliveira (2019) e Fasugba *et al.* (2019) destacam que a incidência aumenta exponencialmente após 7 a 10 dias, enquanto a remoção precoce reduz significativamente o risco. Stamm e Coutinho (1999) reforçam que essa medida é uma das estratégias mais eficazes na prevenção da ITU-CV.

A formação de biofilmes bacterianos em cateteres prolonga a colonização e aumenta a resistência antimicrobiana. He *et al.* (2024) destacam *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* como principais agentes. Kai-Larsen *et al.* (2021) mostram que cateteres revestidos com ligas metálicas nobres reduzem biofilmes e ITU-CV, sendo uma alternativa promissora, especialmente para cateterização prolongada, apesar do custo e da disponibilidade limitada.

Outro fator de risco significativo identificado foi a condição clínica dos pacientes. Pessoas com diabetes mellitus, hipertensão e outras doenças crônicas apresentam uma maior vulnerabilidade a infecções do trato urinário, como foi observado por Almeida *et al.* (2021) e Kranz *et al.* (2020). Estas condições prejudicam o sistema imunitário, tornando os pacientes mais suscetíveis à colonização bacteriana e à infecção do trato urinário. A idade avançada também

está fortemente associada ao aumento do risco de ITU-CV, como sugerido por Mengistu *et al.* (2020), que observam que pacientes mais velhos apresentam uma resposta imunológica mais debilitada, o que favorece o aparecimento de infecções.

A técnica de inserção e manutenção do cateter é crucial na prevenção da ITU-CV. Brigas *et al.* (2020) alertam que falhas na assepsia aumentam o risco de infecção. A limpeza do meato uretral com clorexidina mostrou-se eficaz na redução das taxas de ITU-CV (Fasugba *et al.*, 2019), destacando-se a necessidade de formação contínua para os profissionais de saúde.

A indicação criteriosa da cateterização é essencial na prevenção da ITU-CV. Muitos pacientes são algaliados sem necessidade clínica, aumentando o risco de infecção. Stamm e Coutinho (2018) defendem políticas que incentivem a remoção precoce e restrinjam o uso do cateter a casos específicos. Mengistu *et al.* (2020) destacam que a revisão diária da necessidade de cateterização pode reduzir significativamente a incidência de ITU-CV.

A prevenção eficaz da ITU-CV exige uma abordagem multidisciplinar. Kranz *et al.* (2020) enfatizam a colaboração entre profissionais de saúde na aplicação de estratégias preventivas. Brigas *et al.* (2020) sugerem que a formação contínua e a atualização sobre práticas baseadas em evidências melhoram os resultados, reforçando a importância da remoção precoce do cateter e da higiene adequada.

Existem algumas limitações nos estudos analisados que merecem atenção. A heterogeneidade metodológica nos estudos existentes, especialmente no que diz respeito às definições de ITU-CV e aos métodos de diagnóstico, pode dificultar a comparação direta dos resultados. Além disso, a maioria dos estudos foi realizada em unidades hospitalares específicas, como UTIs, o que limita a generalização dos resultados para outros contextos, como atendimentos em ambatório ou cuidados domiciliários. A falta de dados específicos sobre populações com características particulares, como os idosos, também representa uma limitação importante.

CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a prevalência das CAUTIs está diretamente relacionada ao tempo de permanência do cateter, à qualidade das práticas

de inserção e manutenção, bem como às condições clínicas dos pacientes, incluindo comorbidades como diabetes mellitus e idade avançada. A duração prolongada do uso do cateter surge como o principal fator de risco, especialmente após sete dias de utilização, momento em que o risco de formação de biofilmes bacterianos e infecção aumenta consideravelmente.

Por outro lado, as estratégias preventivas, como a remoção precoce do cateter, a utilização de dispositivos antimicrobianos e a adesão a protocolos rigorosos de assepsia, demonstraram eficácia na redução da incidência de CAUTIs. A formação contínua dos profissionais de saúde, com foco nas melhores práticas de higiene e na gestão racional de antibióticos, mostrou-se essencial para minimizar o impacto destas infecções e combater a resistência antimicrobiana.

A resposta à questão de revisão — “Qual a prevalência de infecções do trato urinário associadas ao uso de cateter vesical e quais os principais fatores de risco identificados na literatura?” — confirma que estas infecções são frequentes, com prevalência que varia entre 10% e 25% nos ambientes hospitalares analisados, sendo influenciadas principalmente pelo tempo de utilização do dispositivo e pela técnica de manuseamento. No entanto, em unidades de terapia intensiva (UTI), as taxas de ITU-CV são ainda mais elevadas (de 28%). E em países com infraestruturas de saúde limitadas ou em contextos onde a adesão a protocolos de controlo de infecções é insuficiente, a prevalência de ITU-CV pode atingir até 30%.

Uma abordagem multidisciplinar e integrada, aliada à implementação de políticas institucionais rigorosas e ao uso de novas tecnologias, como cateteres antimicrobianos, é crucial para reduzir a prevalência das CAUTIs. Este estudo reforça a importância de continuar a investir na investigação nesta área e em estratégias de prevenção, promovendo uma prática clínica segura e eficaz.

REFERÊNCIAS

Almeida, R. B., dos Santos, V. L. B., Specht, M. L., da Rosa, L. S., Fernandes, I. N., de Souza, P. B., & Moreira, F. P. (2021). Infecção urinária em pacientes utilizando cateter vesical de demora internados em uma Unidade de Terapia Intensiva. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, 13(7), e7724-e7724.

Brigas, D. F., Madeira, M., Abrantes, C., Santos, F., Mendes, G., Marques, S. N., & Pedroso, E. (2020). Cateterização Vesical no Doente Internado: Reduzindo as Complicações Associadas ao Procedimento. *Medicina Interna*, 27(3), 213-218.

D'Incau, S., Atkinson, A., Leitner, L., Kronenberg, A., Kessler, T. M., & Marschall, J. (2023). Bacterial species and antimicrobial resistance differ between catheter and non-catheter-associated urinary tract infections: Data from a national surveillance network. *Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology*, 3(1), e55.

Fasugba, O., Cheng, A. C., Gregory, V., Graves, N., Koerner, J., Collignon, P., ... & Mitchell, B. G. (2019). Chlorhexidine for meatal cleaning in reducing catheter-associated urinary tract infections: a multicentre stepped-wedge randomised controlled trial. *The Lancet Infectious Diseases*, 19(6), 611-619.

He, W., Ma, P., Li, L., Wang, D., Li, X., Wen, X., ... & Wang, Z. (2024). Efficacy and safety of preventing catheter-associated urinary tract infection by inhibiting catheter bacterial biofilm formation: a multicenter randomized controlled trial. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 13(1), 96.

Jain, H., Hartigan, E., Tschopp, J., Suits, P., & Paolino, K. (2020). Catheter-Associated Urinary Tract Infections (CAUTIs) Reduction: A Multidisciplinary Approach. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 41(S1), s154-s154.

Kai-Larsen, Y., Grass, S., Mody, B., Upadhyay, S., Trivedi, H. L., Pal, D. K., ... & Singh, S. K. (2021). Foley catheter with noble metal alloy coating for preventing catheter-associated urinary tract infections: a large, multi-center clinical trial. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 10, 1-10.

Kranz, J., Schmidt, S., Wagenlehner, F., & Schneidewind, L. (2020). Catheter-associated urinary tract infections in adult patients: Preventive strategies and treatment options. *Deutsches Ärzteblatt International*, 117(6), 83.

Lobão, M. J., & Sousa, P. (2016). Infecções urinárias associadas a cateter vesical: contributos para a prática clínica. *Medicina Interna*, 23(4), 65-68.

Mengistu, D. A., Alemu, A., Abdukadir, A. A., Mohammed Husen, A., Ahmed, F., & Mohammed, B. (2023). Incidence of urinary tract infection among patients: systematic review and meta-analysis. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 60, 00469580231168746.

Mota, É. C., & Oliveira, A. C. (2019). Catheter-associated urinary tract infection: why do not we control this adverse event?. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, 53, e03452.

Navarro, D. F., Sullivan, F., Azcoaga-Lorenzo, A., & Santiago, V. H. (2020). Point-of-care tests for urinary tract infections: protocol for a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy. *BMJ open*, 10(6), e033424.

Rubi, H., Mudey, G., & Kunjalwar, R. (2022). Catheter-associated urinary tract infection (CAUTI). *Cureus*, 14(10).

Snyder, M. D., Priestley, M. A., Weiss, M., Hoegg, C. L., Plachter, N., Ardire, S., & Thompson, A. (2020). Preventing catheter-associated urinary tract infections in the pediatric intensive care unit. *Critical care nurse*, 40(1), e12-e17.

Stamm, A. D. F., & Coutinho, M. D. A. (1999). Infecção do trato urinário relacionada ao cateter vesical de demora: incidência e fatores de risco. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 45, 27-33.

Walker, E., Lyman, A., Gupta, K., Mahoney, M. V., Snyder, G. M., & Hirsch, E. B. (2016). Clinical management of an increasing threat: outpatient urinary tract infections due to multidrug-resistant uropathogens. *Clinical Infectious Diseases*, 63(7), 960-965.

World Health Organization. (2011). Report on the burden of endemic health care-associated infection worldwide. In Report on the burden of endemic health care-associated infection worldwide.

PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SEMENTES DE MILHO TRATADAS COM AGROQUÍMICOS

Gustavo Henrique Gravatim Costa

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)–
Unidade Acadêmica de Frutal

Luís Gustavo Cardoso Moraes

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)–
Unidade Acadêmica de Frutal

Giovanni Uema Alcântara

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG)–
Unidade Acadêmica de Frutal

RESUMO

Nos países onde o milho tem sido utilizado para produção de etanol, as fábricas utilizam regularmente grãos obtidos em lavouras que são facilmente processadas ou armazenadas por alguns meses. Porém, alguns produtores utilizam sementes de milho para produzir etanol quando não há grãos. Essa matéria-prima é tratada com agroquímicos, que podem afetar a produção de etanol. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do processamento de sementes de milho sobre a levedura na fermentação e a composição do vinho obtido. As sementes foram moídas e cozidas para hidrolisar o amido. As amostras foram padronizadas quanto ao pH e temperatura, e foram inoculadas com uma levedura industrial. Foram avaliadas a viabilidade celular de fermentação e a qualidade do vinho. Utilizou-se grãos recém colhidos do mesmo híbrido como tratamento testemunha. Concluímos que a utilização de sementes de milho hidrolisadas e tratadas com agroquímicos no processo fermentativo influencia negativamente no desenvolvimento de leveduras, mas não afeta o etanol produzido.

Palavras-chave: milho; bioenergia; biorrefinaria; amido; *tiometoxam*.

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, muitos países têm buscado uma substituição gradual das fontes de energia não renováveis por fontes renováveis, incluindo Brasil, Estados Unidos, Índia, China, França e Espanha. No Brasil, por exemplo, novas matérias-primas como sorgo sacarino (Lozano *et al.*, 2020), resíduo lignocelulósico (Ribeiro *et al.*, 2019) e milho (Alcantara *et al.*, 2020) estão sendo estudadas para complementar a produção de etanol nacional (que é majoritariamente representado pelo etanol produzido a partir da cana-de-açúcar). É importante destacar que o milho se tornou a segunda cultura para a produção desse biocombustível, pois o Brasil é o terceiro maior produtor de milho - na safra 2016/2017 foram 91 milhões de toneladas (Fiesp, 2018); e no ano de 2023 foram produzidos 6 bilhões de litros de etanol de milho (Conab, 2023).

A produção de etanol de milho pode ser feita utilizando o grão recém-colhido ou mesmo se ele tiver sido armazenado em silos por alguns meses e processado durante a entressafra (Conab, 2021). No entanto, algumas fábricas têm usado sementes de milho para produzir etanol, quando não há grãos disponíveis. As sementes de milho apresentam uma película de agroquímicos, como fungicida e inseticida, pois são destinadas ao processo de plantio. Esses produtos químicos ajudam no processo de germinação, previnem que fungos infectem os grãos, evitam que insetos ataquem as sementes, resultando em aumento de rendimento da cultura (North *et al.*, 2018). Os fungicidas mais utilizados no tratamento de sementes são: Tebuconazol (Ding *et al.*, 2018), Ipconazol, Fludioxonil (Deuner *et al.*, 2014), Thiram, Carbendazim, Captana, Fludioxonil, Tiabendazol, Prochloraz (Linhares *et al.*, 2020). Os inseticidas mais utilizados são Carbofuran, Thiodicarb, Imidacloprid, Clothianidin, Thiacloprid e Tiametoxam (Vojvodic; Bažok, 2021). No entanto, o efeito dessa matéria-prima na produção de etanol é desconhecido e os produtos químicos podem interferir no processo de cozimento e fermentação.

É importante destacar que grãos e sementes, quando na fábrica, são moídos para expor o tecido de reserva de amido, aquecendo a temperatura até 100°C (cozimento) promovendo a «gelatinização» dessas moléculas (Lehninger; Nelson; Cox, 2018). O próximo passo consiste na adição de α -amilase (E.C. 3.2.1.1), que quebra as ligações 1-4 das moléculas de amido em temperatura

de 70 a 90°C. A pasta de milho é resfriada a 32°C ajustando o pH para 4,5 e a concentração de açúcar para cerca de 18° Brix, originando o mosto.

Após o mosto é adicionado a glucoamilase que hidrolisa as ligações 1-4 e 1-6 das moléculas de amido. Esta etapa é denominada sacarificação e consiste na hidrólise total das moléculas da liquefação das unidades de glicose. Esta etapa posteriormente consiste na inoculação de leveduras, iniciando o processo de fermentação. É um fato; a fermentação do milho leva de 24 a 28 horas. Após consumir todo o açúcar presente, o mosto fermentado (vinho) é direcionado para as colunas de destilação para a recuperação do etanol (Bothast; Schlicher, 2005).

Portanto, é imperativo entender e conhecer os efeitos do processamento de grãos de milho e sementes de milho tratadas com levedura fermentada, e os efeitos que isso pode ter na quantidade de etanol produzido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra 2021/2022. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dois tratamentos e seis repetições. O tratamento foi feito com grãos e sementes obtidos do híbrido Sempre 20A12 Vip3 de uma fazenda da região de Frutal-MG. As sementes foram tratadas com o agroquímico Cruiser® 350 FS (Syngenta, 2023), que apresentou o ingrediente ativo Tiametoxam. As sementes foram armazenadas em sacos por 6 meses, e os grãos foram colhidos e armazenados por 30 dias.

Os grãos e sementes foram colocados em uma câmara para equalizar sua umidade a 15%. Em seguida, as amostras foram trituradas em um moinho de forragem seguido de peneiramento até o tamanho de grão inferior a 1,00mm. Os grãos triturados foram imersos em água ácida com (pH 5,5) na proporção de 250 g.L⁻¹. O material foi aquecido a 100°C por uma hora criando uma pasta (fase I). Em seguida, a pasta foi resfriada a 80-90°C (fase II). Em ambas as fases, a enzima α -amilase (LpHera® Novozymes) foi dosada na proporção de 300 KNU.g⁻¹ de amido para hidrolisar as moléculas de glicose compostas. Na fase I, a dosagem será de 0,05mL da quantidade de enzima necessária para evitar a "gelatinização" do amido e 0,1 mL adicionada durante a fase II (Nogueira *et al.*, 2017).

As pastas foram caracterizadas como Brix, Açúcares Totais Reduzidos (ATR), pH, Acidez Total (CTC, 2005) e Amido (Figueira; Carvalho; Sato, 2011); resfriadas à temperatura ambiente, peneiradas em peneira de 20 mesh e ajustadas ao pH 4,5 (ácido sulfúrico 10N) e à temperatura de 30°C originando o mosto.

O mosto foi inoculado com levedura industrial *Saccharomyces cerevisiae* (TR - Thermo-Resistent LNF) na concentração de 10% do volume que será fermentado (400mL de mosto para 40 g de levedura) com adição de 0,2 mL de enzima glucoamilase (AML 330L Novozymes). As fermentações foram mantidas em B.O.D (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a 33°C.

Ao longo da fermentação foram avaliadas a viabilidade celular, brotamento e viabilidade de brotos das leveduras (Lee; Robinson; Wong, 1981), no início e no final do processo. O vinho foi recuperado por centrifugação e analisado quanto ao Brix, pH, Acidez Total e Teor Alcoólico (CTC, 2005). Com base no ATR do mosto e no teor alcoólico do vinho, a Eficiência de Fermentação foi quantificada (Fernandes, 2003).

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de variância F e as médias comparadas de acordo com o teste de Tukey (5%) utilizando o programa AGROESTAT® (Barbosa; Maldonado Junior, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AMOSTRAS DE PASTA E MOSTO

Referindo-se às amostras de pasta (Tabela 1) de grãos e sementes de milho hidrolisados. Os resultados são apresentados em Brix, pH, ATR, Acidez Total e Amido.

Tabela 1 - Resultados obtidos de Brix (%), pH, ATR (%), Acidez Total (g H₂SO₄.L⁻¹) e Amido (ppm) para as amostras de pasta hidrolisada de grãos e sementes.

Tratamentos	Brix (%)	pH	TRS (%)	Acidity (g H ₂ SO ₄ .L ⁻¹)	Starch (ppm)
Grãos	16.63 A	5.6 B	11.10 A	0.82 A	1209.7 B
Sementes	14.77 A	5.9 A	11.92 A	0.49 B	4003.2 A
Teste F	1.71ns	27.70*	6.22ns	20.76*	266.29**
DMS	0.37	0.03	118.39	0.13	1569.3
CV	4.84	0.81	10.22	57.11	8.96

Letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%) **significativo ao nível de probabilidade de 1%. Ns – não significativo. MSD – Menor Desvio Significativo. CV – Coeficiente de Variação.

Para os parâmetros de conteúdo de sólidos solúveis (Brix) das amostras de pasta, não houve diferenças significativas verificadas nos valores, estando na seguinte ordem: 14,5 até 16,6%, e assim, estão em condições adequadas para certas plantas dedicadas à produção de etanol de milho (Alcantara *et al.*, 2020). É importante destacar os conteúdos de sólidos solúveis obtidos, considerando a proporção e 25g.L-1 de grãos usados para a preparação da pasta híbrida, permitindo notar que apresentam conteúdos próximos da ordem de 65 a 80% de amido em sua composição. Esta proporção é semelhante às determinadas por Szambelan *et al.* (2018), que determinam a presença de conteúdo de amido em torno de 80% ao se referir a estudos de fermentação e sacarificação para a produção de etanol em diferentes amostras de milho.

Considerando o conteúdo de açúcares totais reduzidos presentes nos grãos e sementes, observou-se que o processo de extração utilizado resultou em conteúdo semelhante para ambas as matérias-primas. Destaca-se que esses valores são inferiores aos determinados por Lozano *et al.* (2020), que tiveram 12,5% de ATR na pasta para três milhos híbridos.

Foi interessante observar que a diferença entre Brix e ATR neste experimento foi diferente dos resultados obtidos por Lozano *et al.* (2020). Verificamos uma diferença de 3-4%, e os autores determinaram uma diferença de 1%. Esses resultados podem estar associados a ácidos orgânicos, compostos fenólicos e polissacarídeos presentes nesses híbridos (Alcantara *et al.*, 2020). Assim, podemos inferir que os híbridos podem influenciar na produção de etanol.

Relacionado à presença de amido nas amostras, destaca-se que houve um valor residual maior dessas biomoléculas no tratamento que utilizou sementes tratadas com fungicida. Provavelmente essa diferença pode estar associada ao tempo em que as sementes foram armazenadas, o que pode ter promovido a perda de água e, conseqüentemente, a concentração de amido. É importante destacar que as sementes são cuidadosamente selecionadas pelas empresas antes do tratamento químico para garantir o vigor dessa matéria-prima; e a grande quantidade de amido na semente é importante como reserva de carboidratos para a germinação da planta.

Pode-se inferir que o amido presente na matéria-prima pode ter influenciado a ação da enzima α -amilase durante o processo de cozimento e hidrólise. Embora não houvesse razão para essa investigação neste estudo, projetos

futuros poderiam detectar qual molécula presente na semente tratada influencia a enzima. Alcantara *et al.* (2020) e Lozano *et al.* (2020) também observaram comportamento semelhante no processo, como níveis de amido na ordem de 1000 ppm no mosto.

Relacionado aos parâmetros de acidez das amostras obtidas de grãos e sementes tratadas, não houve diferença significativa nos valores obtidos. Considerando que ambos os tratamentos foram padronizados para pH 4,5, pode-se inferir que os produtos presentes nas sementes de milho as tornaram ligeiramente mais ácidas, resultando em níveis médios de pH mais baixos quando comparados aos grãos.

Os resultados de viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos no início e no final do processo de fermentação estão disponíveis nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Valores médios obtidos da viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos no início do processo de fermentação do mosto com grãos tratados e grãos de milho hidrolisados.

Tratamentos	Viabilidade Celular (%)	Brotamentos (%)	Viabilidade de Brotos (%)
Grãos	86.19 B	10.95 A	90.81 A
Sementes	90.34 A	9.49 A	87.61 A
Teste F	5.65*	0.38ns	0.18ns
DMS	30076	19.81	105620
CV	10.16	30.75	33.45

Letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%) **significativo ao nível de probabilidade de 1%. Ns – não significativo. MSD – Menor Desvio Significativo. CV – Coeficiente de Variação.

Foi possível observar que, para a viabilidade celular, a fermentação de sementes de milho inicialmente promove uma manutenção favorável para a levedura. No entanto, com o passar do tempo, a viabilidade diminuiu para níveis como 74%, enquanto no processamento dos grãos os valores tendem a se manter constantes durante o processo. Provavelmente, a presença do pesticida tiametoxam nas sementes resulta em uma modificação no ambiente para o microrganismo, fazendo com que ele consuma o açúcar para se manter vivo e se multiplicar, resultando em outros tipos de estresse celular, como ácido, pressão osmótica e outros (Basso; Basso; Rocha, 2011).

É importante destacar que o tiametoxam tem efeito negativo na organização e biogênese da parede celular na levedura *Saccharomyces cerevisiae* (Usaj

et al., 2014), mas não altera a atividade da enzima Glutathione redutase – enzima de defesa antioxidante (Karadag, 2019). No entanto, em condições de campo, o tiametoxam aplicado por pulverização em árvores frutíferas e florestais não afeta a *S. cerevisiae* presente nas folhas (Vadkertiova; Slavikova, 2011).

Tornando evidente o índice de brotamento. Nesse contexto, deve-se destacar que a levedura pode iniciar um processo de produção de biomassa em vez do produto-alvo – etanol. Outro fator que pode interferir na viabilidade da levedura são os inibidores de aldeído furfural e 5-hidroximetilfurfural (HMF), que podem ser formados durante o processo de hidrólise, resultando na ligação de açúcares monoméricos e cadeias poliméricas (Eckerta *et al.*, 2017). No entanto, estudos futuros poderiam avaliar essa afirmação. Não houve diferenças significativas verificadas para a viabilidade de brotamento no início e no final da fermentação.

Esses comportamentos são os mesmos mostrados por Alcantara *et al.* (2020), que verificaram o índice inicial satisfatório para o desenvolvimento de levedura no mosto de milho; no entanto, houve redução significativa na viabilidade celular no final do processo quando a levedura CAT-1 foi usada.

Tabela 3 - Valores médios obtidos da viabilidade celular, índice de brotamento e viabilidade de brotos no final do processo de fermentação do mosto com grãos tratados e grãos de milho hidrolisados.

Tratamentos	Viabilidade Celular (%)	Brotamentos (%)	Viabilidade de Brotos (%)
Grãos	83.28 A	7.11 B	76.02 A
Sementes	74.91 B	15.17 A	71.95 A
Teste F	18.90**	22.16**	0.71ns
DMS	26611	0.0061	457.38
CV	12.38	0.64	19.74

Letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%) **significativo ao nível de probabilidade de 1%. Ns – não significativo. MSD – Menor Desvio Significativo. CV – Coeficiente de Variação.

Os resultados obtidos para os metabólitos produzidos pela levedura estavam presentes no vinho, ácidos orgânicos alcoólicos e no Brix residual, e o pH dessas soluções são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos de Brix (%), pH, Acidez Total (g H₂SO₄.L⁻¹) e Teor Alcoólico (°GL) para as amostras de vinho nos grãos e sementes.

Tratamentos	Brix (%)	pH	Acidez Total (g H ₂ SO ₄ .L ⁻¹)	Teor Alcoólico (°GL)
Grãos	0.00	3.2 B	5.53 A	7.33 A
Sementes	0.00	3.6 A	2.88 B	7.58 A
Teste F	-	577.99**	567.73**	1.24ns
DMS	-	0.46	3.05	25.88
CV	-	2.55	0.05	14.48

Letras diferentes diferem entre si de acordo com o teste de Tukey (5%) **significativo ao nível de probabilidade de 1%. Ns – não significativo. MSD – Menor Desvio Significativo. CV – Coeficiente de Variação.

Foi possível verificar que a levedura consumiu os sólidos solúveis, especialmente os açúcares fermentáveis, durante o processo de fermentação, uma vez que o Brix foi zero. No entanto, o pH do vinho proveniente do processamento dos grãos foi inferior ao do vinho preparado a partir das sementes. Este parâmetro está diretamente associado à acidez do vinho, que foi maior nos grãos tratados. Provavelmente, a maior atividade fermentativa da levedura neste primeiro tratamento resultou em uma maior formação de CO₂, que, quando misturado com água, forma ácido carbônico, resultando em um aumento da acidez total do material, bem como uma redução no pH. Os valores de acidez determinados para as sementes foram semelhantes aos mostrados por Lozano *et al.* (2020), Alcantara *et al.* (2020) e Nogueira *et al.* (2023), que determinaram o valor na ordem de 2,6 g/L.

Considerando o teor alcoólico do vinho, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Este é um fato interessante porque mostra que, apesar de a levedura estar comprometida durante o processo de fermentação ao processar a semente de milho, a quantidade de álcool produzida não foi alterada, indicando a viabilidade do processamento da matéria-prima. Pode-se destacar que os valores encontrados são superiores aos apresentados por Lozano *et al.* (2020), que indicaram um teor alcoólico entre 6% nas amostras de milho.

CONCLUSÃO

O uso de sementes de milho tratadas com o agroquímico Cruisier® 350 mostra influência negativa sobre a levedura fermentada, no entanto, não afeta a quantidade de etanol produzida.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade do Estado de Minas Gerais (PAPq/UEMG – 05/2020 e PQ 01/2021).

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, G.U.; NOGUEIRA, L.C.; STRINGACI, L.A.; MOYA, S.M.; COSTA, G.H.G. Brazilian “flex mills”: ethanol from sugarcane molasses and corn mash. **BioEnergy Research**, v. 13, p. 229-236. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10052-3>

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. **Experimentação Agronômica & AgroEstat: Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agrônômicos**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2015.

BASSO, L.C.; BASSO, T.O.; ROCHA, S.N. Ethanol production in Brazil: The industrial process and its impact on yeast fermentation. *In*: BERNARDES, M.A.S. **Biofuel production – recent developments and prospects**. London: InTech Open, 2011. p.5-100.

BOTHAST, R.J.; SCHLICHER, M.A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 67, n. 1, p. 19–25. 2004. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1819-8>

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília-DF, v. 11, n. 3, novembro 2023.

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Manual de métodos de análises para açúcar**. CTC, Piracicaba, 2005. CD ROM.

DEUNER, C.; ROSA, K.C.; MENEGHELLO, G.E.; BORGES, C.T.; ALMEIDA, A.S.; BOHN, A. Physiological performance during storage of corn Sementes treated with insecticides and fungicide. **Journal of Sementes Science**, v. 36, n. 2, p. 204-212, 2014. <http://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2928>

DING, J.; LI, H.; ZHANG, Z.; LIN, J.; LIU, F.; MU, W. Thiamethoxam, Clothianidin, and Imidacloprid Sementes Tratamentos Effectively Control Thrips on Corn Under Field Conditions. **Journal of Insect Science**, v. 18, n. 6, 2018. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey128>

ECKERTA, C.T.; FRIGOB, E.P.; ALBRECHTC, L.P.; ALVRECHTC, A.J.P.; CHRISTA, D.; SANTOS, W.G.; BERKEMBROCKC, E.; EGEWARTH, V.A. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3, p. 3907 – 3912, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.082>

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 3. ed. Piracicaba: EME/STAB. 2003.

FIGUEIRA, J.A.; CARVALHO, P.H.; SATO, H.H. Sugarcane starch: quantitative determination and characterization. **Food Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 806-815, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000300040>

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **INFORMATIVO DEAGRO**: Safra Mundial de Milho Safra 2017/2018. 12. ed. [S. l.]: FIESP, 3 abr. 2017. Disponível em: https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/boletim_milho_abril2017/. Acesso em: 7 dez. 2023.

KARADAG, H. The *in vitro* effect of neonicotinoid insecticides imidacloprid and thiamethoxam on *Glutathione reductase* enzyme activity from baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). **Adiyaman University Journal of Science**, v. 9, n. 2, p. 266-273. 2019. <https://doi.org/10.37094/adyujsci.534278>

LEE, S.S.; ROBINSON, F.M.; WONG, H.Y. Rapid determination of yeast viability. In: Biotechnology and Bioengineering Symposium, 11, 1981. Gatlinburg. **Proceedings**. Gatlinburg: OSTI, 1981. Available on: <https://www.osti.gov/biblio/5354410>

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 70. ed. São Paulo: Sarvier, 2018.

LINHARES, R.R.; DE MORAES, M.H.D.; ISHIZUKA, M.S.; MENTEN J.O.M. Tratamento de sementes de milho. **Cultivar Grandes Culturas**, ed. 208, 2020. Available on: <https://revistacultivar.com.br/artigos/tratamento-de-sementes-de-milho>. Accessed on: 07 dez. 2023.

LOZANO, E.V.; NOGUEIRA, L.C.; ALCANTARA, G.U.; COSTA, G.H.G. Híbridos de Milho afetam a quantidade de etanol produzida no Cerrado do Centro-Oeste paulista. **Fronteiras: Journal of Social and Technology Environmental Science**, v. 9, n. 1, p. 424-438. 2020. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p424-438>

NOGUEIRA, L.C.; ALCANTARA, G.U.; FERREIRA, O.E.; COSTA, G.H.G. Storage Time and Temperature of Corn Grãos Affect the Ethanol Production. **Sugar Tech**, v. 25, p. 562-568, 2023. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01199-z>

NOGUEIRA, L.C.; ALCANTARA, G.U.; MOYA, S.M.; COSTA, G.H.G. Extração de açúcares do grão de milho de 1,18mm em diferentes tempos de cozimento. In: Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 4, 2017, São Paulo. **Proceedings**. São Paulo: Blucher, 2017. p. 1167-1172, 2017. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2017-212>

NORTH, J.H.; GORE, J.; CATCHOT, A.L.; STEWART, S.D.; LORENZ, G.M.; MUSSER, F.R.; COOK, D.R.; KERNS, D.L.; LEONARD, B.R.; DODDS, D.M. Value of Neonicotinoid Insecticide Sementes Tratamentos in Mid-South Corn (*Zea mays*) Production Systems. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 1, p. 187-192, 2018. <https://doi.org/10.1093/jee/tox278>

QIU, X.; ZHANG, J.; ZHOU, J.; FANG, Z.; ZHU, Z.; LI, J.; DU, G. Stress tolerance phenotype of industrial yeast: industrial cases, cellular changes, and improvement strategies, **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, p. 6449-6462, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09993-8>

RIBEIRO, N.N.; FREITA, L.A.; TRALLI, L.F.; SILVA, A.F.; FREITA, C.M.; MENDES, F.Q.; TEIXEIRA, V.; JUNIOR, C.N.S.; MUTTON, M.J.R. Optimization of fermentative conditions of *Pichia membranifaciens* for second generation ethanol production. **Química Nova**, v.42, n. 7, p. 720-728, 2019. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170385>

SALDAÑA, C.; VILLAVA, C.; RAMÍREZ-VILLARREAL, J.; MORALES-TLALPAN, V.; CAMPOS-GUILLEN, J.; CHÁVEZ-SERVÍN, J.; GARCÍA-GASCA, T. Rapid and reversible cell volume changes in response to osmotic stress in yeast. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, p. 895-903, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00427-0>

Souza, G.M. *et al.*, 2015. Bioenergy and sustainability. SCOPE 72: ISBN: 978-2-9545557-0-6. <http://bioenfapesp.org/scopebioenergy/images/E-VERSION-SCOPE-Final-lowres.pdf> (accessed 13 Feb. 2022)

SYNGENTA, 2023. **Cruiser 350 FS**. Available on: <https://www.syngenta.com.br/product/crop-protection/inseticidatratamento-de-sementes/cruiser-350-fs>. Accessed on 07 dez. 2023.

SZAMBELAN, K.; NOWAK, J.; SZWENGIEL, A.; JELEŃ, H.; ŁUKASZEWSKI, G. Separate hydrolysis and fermentation and simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars. **Industrial Crops and Products**, v. 118, p. 355 – 361, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.059>

USAJ, M.M.; KAERLE, P.; TOPLAK, A.; TREBSE, P.; PETROVIC, U. Determination of toxicity of neonicotinoids on the genome leel using chemogenomics in yeast. **Chemosphere**, v. 104, p. 91-96, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.063>

VADKERTIOVA, R.; SLAVIKOVA, E. Influence of pesticides on yeast colonizing leaves. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 66, p. 588-594, 2011. <https://doi.org/10.1515/znc-2011-11-1208>

VOJVODIC, M.; BAŽOK, R. Future of insecticide Sementes treatment. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 8792, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13168792>

PROVISÃO PARA DEVEDORES DUVIDOSOS E CARTEIRA DE CRÉDITO EM BANCOS BRASILEIROS

Highlander Bruno Ribeiro Barros
Centro Universitário Fametro (UNIFAMETRO)

Allan Pinheiro Holanda
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

RESUMO

Objetivo: Este estudo tem como objetivo investigar como a carteira de crédito impacta o saldo das provisões para devedores duvidosos constituídas por bancos registrados no portal do Banco Central do Brasil, no período de 2015 a 2023. **Métodos:** A pesquisa utilizou uma abordagem quantitativa, com dados coletados de 2015 a 2023 no portal do Banco Central do Brasil. Foram analisadas as variáveis provisões para devedores duvidosos, operações de crédito, receita das operações de crédito e a taxa Selic, sobre as quais foram aplicados testes de estatística descritiva, diferença de médias, análise de correlação e análise de regressão. **Resultados:** Os resultados indicaram que as operações de crédito e a taxa Selic possuem um impacto significativo nas provisões para devedores duvidosos, enquanto a receita de operações de crédito, apesar de seu crescimento ao longo dos anos, não apresentou um efeito relevante. **Conclusão:** A análise sugere que a gestão das provisões para devedores duvidosos é mais sensível às variações macroeconômicas e nas operações de crédito do que ao crescimento direto da receita de operações de crédito. Estes achados destacam a importância de estratégias robustas de gestão de risco, especialmente em contextos de instabilidade econômica.

Palavras-chave: provisões para devedores duvidosos; operações de crédito; gestão de crédito bancário.

INTRODUÇÃO

O crédito desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico, ao possibilitar que indivíduos e empresas concretizem projetos que excedem seus recursos financeiros imediatos. No entanto, é fundamental destacar que uma análise inadequada do crédito pode resultar em inadimplência, comprometendo a saúde financeira de ambas as partes envolvidas.

O não pagamento de dívidas pelos clientes causa um impacto negativo nos bancos, resultando em perda de lucros esperados e aumento das reservas para cobrir possíveis calotes o que acaba impactando a análise do risco de crédito. Segundo Stolf e Lima (2008, p. 459-460) “estes riscos têm o potencial de gerar perdas financeiras para as instituições, podendo acarretar desequilíbrios patrimoniais que, em casos extremos, conduzem ao colapso da entidade e, potencialmente, de todo o sistema financeiro”, ou seja, esse cenário leva à diminuição da capacidade dos bancos de conceder empréstimos, prejudica sua reputação e pode gerar um efeito cascata na estabilidade do sistema financeiro.

Para lidar com a inadimplência e proteger sua saúde financeira, os bancos adotam estratégias de gestão de riscos e cobrança. Contabilmente, essa gestão baseia-se na utilização das provisões para devedores duvidosos.

As provisões para devedores duvidosos representam uma prática contábil essencial para a gestão de riscos em instituições financeiras, especialmente em bancos. Trata-se de um montante reservado para cobrir possíveis perdas decorrentes de inadimplências por parte dos clientes, desempenhando um papel crucial na estabilidade financeira dessas instituições.

As provisões para devedores duvidosos, também chamadas de perdas estimadas de créditos de liquidação duvidosa, podem compreendidas como uma reserva destinada a assegurar uma quantia correspondente à diminuição do valor recuperável de ativos, especificamente a carteira de crédito dos bancos, com base no histórico de perdas e nos riscos associados a possíveis inadimplências (RUTSCHKA, 2019).

No contexto bancário, a relevância das provisões para devedores duvidosos é ainda mais acentuada, uma vez que influenciam diretamente o lucro líquido dos bancos. Um aumento nas provisões pode reduzir os lucros, enquanto uma diminuição pode elevá-los. Essa dinâmica torna a análise das provisões um tema

central nos estudos sobre a saúde financeira dos bancos e sua capacidade de absorver perdas sem comprometer sua operação.

De acordo com Silva e Robles Júnior (2018), os critérios de constituição das provisões para devedores duvidosos estavam estabelecidos na resolução 2.682/1999 do Banco Central do Brasil. Atualmente, a resolução que trata desses critérios é a 4.966/2021, também do Banco Central do Brasil.

Segundo Silva e Robles Júnior (2018), as provisões para devedores duvidosos revelam a qualidade da carteira de crédito dos bancos, uma vez que refletem a expectativa de perdas com inadimplência dessa carteira. Uma maior constituição de provisões está relacionada a uma maior inadimplência, o que representaria uma carteira de crédito de baixa qualidade.

Portanto, a mensuração e constituição das provisões para devedores duvidosos está diretamente relacionada à qualidade da carteira de crédito do banco. A qualidade da carteira reflete a probabilidade de inadimplência dos clientes, e quanto maior o risco percebido, maior tende a ser o montante. Dessa forma, a provisão para devedores duvidosos funciona como um indicador da robustez da carteira de crédito e da estratégia de gestão de risco do banco.

Diante desse contexto, a presente pesquisa se propõe a investigar a seguinte questão: o tamanho da carteira de crédito dos maiores bancos brasileiros impacta o saldo das provisões para devedores duvidosos constituídas por essas instituições?

Nessa ideia, a hipótese da pesquisa seria a de que o tamanho da carteira de crédito dos maiores bancos brasileiros impacta direta e positivamente o saldo das provisões para devedores duvidosos constituídas por essas instituições.

O objetivo da pesquisa é investigar como a carteira de crédito impacta o saldo das provisões para devedores duvidosos constituídas por bancos registrados no portal do Banco Central do Brasil, no período de 2015 a 2023.

Por se tratar de tema pouco estudado na literatura nacional, reforça-se a relevância do estudo ao discutir relações explicativas entre a carteira de crédito impacta o saldo das provisões para devedores duvidosos.

Ao fornecer insights sobre a relação entre o tamanho da carteira de crédito e as provisões para devedores duvidosos em bancos brasileiros, a pesquisa pode contribuir significativamente para a melhoria das práticas de gestão de risco

bancário, fortalecer a confiança no sistema financeiro e apoiar a formulação de políticas regulatórias mais eficazes.

A metodologia adotada foi uma pesquisa quantitativa baseada nos dados contábeis dos bancos que compuseram a amostra da pesquisa, no período de 2015 a 2023. A escolha do corte temporal teve por intuito analisar os dados por um número significativo de períodos, bem como analisar possíveis efeitos da pandemia de COVID-19. Os resultados encontrados permitiram inferir que as operações de crédito e a taxa Selic possuem um impacto positivo e significativo na constituição das provisões para devedores duvidosos nos bancos analisados.

MÉTODOS

Esta pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem quantitativa, empregando técnicas de análise descritiva, pesquisa bibliográfica e análise documental.

Foi utilizada uma amostra composta por bancos registrados no portal do Banco Central do Brasil, no período de 2015 a 2023. Os dados necessários para a mensuração das variáveis da pesquisa foram coletados no portal institucional do Banco Central do Brasil. A exclusão de alguns bancos ocorreu devido à não disponibilização de informações sobre provisões para devedores duvidosos ou carteira de crédito, resultando em uma amostra de 335 observações por ano.

Com o intuito de conhecer o comportamento das variáveis da pesquisa, foram realizados testes de estatística descritiva, diferenças de médias não paramétricos (teste de Kruskal-Wallis) e análise de correlação (teste de Pearson).

Para inferir sobre a aceitação ou não da hipótese da pesquisa, utilizou-se a técnica de análise de regressão para estimar o efeito da carteira de crédito sobre as provisões para devedores duvidosos constituídas pelos bancos brasileiros, conforme a equação a seguir:

$$\text{Provisões para Devedores Duvidosos}_{it} = \beta_0 + \beta_1 * \text{Operações de Crédito}_{it} + \beta_2 * \text{Receita de Operações de Crédito}_{it} + \beta_3 * \text{Selic}_{it} + \varepsilon_{it}$$

Em que:

β : Coeficientes Estimados para o Modelo;

ε : Termo de Erro.

Para determinar o modelo de estimação mais adequado para a análise de regressão, foram realizados os seguintes testes: teste F (para inferir sobre a presença de efeitos fixos), teste de Breusch-Pagan (para inferir sobre a presença de efeitos aleatórios) e o teste de Hausman (para decidir entre os modelos baseados em efeitos fixos ou efeitos aleatórios) (BREUSCH-PAGAN, 1980; HAUSMAN, 1978). Os resultados obtidos indicaram que a análise de regressão estimada por efeitos fixos era a mais adequada.

Foi utilizada a técnica de winsorização para tratar valores extremos (*outliers*) no conjunto de dados utilizados. Em vez de remover os valores extremos, que podem conter informações importantes, a winsorização os substitui por valores menos extremos. Portanto, as variáveis da pesquisa foram winsorizadas a 5%, sendo 2,5% no percentil superior e 2,5% no percentil inferior.

As variáveis utilizadas na pesquisa estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Mensuração das Variáveis.

Variável	Mensuração
Provisões para Devedores Duvidosos	Provisões / Ativo Total
Operações de Crédito	Operações de Crédito / Ativo Total
Receita	Logaritmo da Receita de Operações de Crédito
Selic	Selic acumulada entre 01 de janeiro de 31 de dezembro de cada ano.

Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS

Foram realizados testes de diferença de médias para avaliar as três variáveis principais ao longo dos anos, conforme os resultados demonstrados na Tabela 1. Os resultados indicam que, para as duas primeiras variáveis, provisões para devedores duvidosos e operações de crédito, não foram encontradas diferenças significativas nas médias ao longo dos anos.

Isso sugere que, apesar das variações nos contextos econômico e financeiro, e sobretudo da pandemia de COVID-19 durante o período estudado, as médias dessas variáveis permaneceram estatisticamente iguais. Tal estabilidade reflete a consistência nas políticas de reconhecimento da provisão para devedores duvidosos e na gestão das operações de crédito pelos bancos.

É importante destacar que ainda não há pesquisas suficientes que analisem o impacto da pandemia de COVID-19 nas provisões para devedores duvidosos. A única pesquisa encontrada foi a de Borges *et al.* (2021), que analisou apenas um único banco brasileiro.

Por outro lado, os resultados indicaram que a receita de operações de crédito dos bancos aumentou ano após ano, principalmente após a pandemia de COVID-19. Esse crescimento pode ser associado à retomada econômica e ao ajuste das estratégias bancárias para aumentar a rentabilidade em um cenário de maior demanda por crédito e serviços financeiros.

Tabela 1: Médias das Variáveis.

Ano	Provisões para Devedores Duvidosos	Operações de Crédito	Receita de Operações de Crédito
2015	0,017	0,365	6,075
2016	0,020	0,370	6,051
2017	0,020	0,368	6,098
2018	0,019	0,371	6,170
2019	0,017	0,347	6,080
2020	0,015	0,338	6,133
2021	0,015	0,347	6,217
2022	0,016	0,346	6,409
2023	0,016	0,345	6,453
Teste Z	6,583	0,835	20,722*

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que as provisões para devedores duvidosos constituídas pelos bancos que compuseram a amostra da pesquisa estão correlacionadas de maneira positiva e significativa, ao nível de 1%, com as variáveis operações de crédito e receita de operações de crédito. Não foi possível obter indícios de correlação entre as provisões para devedores duvidosos e a taxa Selic.

Tabela 2: Resultados da Correlação.

	Provisões para Devedores Duvidosos
Operações de Crédito	0,555*
Receita de Operações de Crédito	0,378*
Selic	0,079

Significância: 1% *

Fonte: Elaborado pelos autores.

Embora a Tabela 2 indique que as provisões para devedores duvidosos estão correlacionadas de maneira significativa com as operações de crédito e a receita de operações de crédito, a Tabela 3 revela que as operações de crédito e a taxa Selic foram as variáveis que apresentaram impacto nas provisões para devedores duvidosos.

A análise de regressão na Tabela 3 mostra que as operações de crédito têm um impacto positivo e significativo sobre as provisões para devedores duvidosos, o que indica que, à medida que os bancos expandem suas operações de crédito, há um aumento na necessidade de provisionamento para possíveis inadimplências.

Por outro lado, a receita de operações de crédito, embora tenha aumentado, não apresentou um impacto significativo sobre as provisões para devedores duvidosos, sugerindo que o aumento da receita de operações de crédito não foi um fator determinante para a variação nas provisões.

Como esperado, a Selic também se mostrou uma variável significativa no modelo, refletindo a importância das taxas de juros na gestão das provisões para devedores duvidosos. Quando a Selic aumenta, os custos dos empréstimos também aumentam, o que pode elevar o risco de inadimplência e, consequentemente, a necessidade de um maior provisionamento de perdas.

Tabela 3: Resultado da Regressão.

Variável Independente	Expectativa	Variável Dependente
		Provisões para Devedores Duvidosos
Operações de Crédito	+	0,015*
Receita de Operações de Crédito	+	0,001
Selic	+	0,019*
Intercepto	?	-0,001
R ²		60,42%
Teste F		3,67*
Observações ano		335

Significância: 5% *

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, o resultado da regressão apresentado na Tabela 3 indicou que o modelo de regressão é válido, uma vez que a estatística F apresentou significância de 5%, e possui bom poder explicativo, já que o coeficiente R^2 foi superior a 60%.

Os resultados indicam que, embora a receita de operações de crédito dos bancos tenha crescido ao longo dos anos, somente as operações de crédito e a taxa Selic foram fatores que influenciaram a constituição das provisões para devedores duvidosos nos bancos que compuseram a amostra da pesquisa. Isso pode ser explicado pela natureza das operações de crédito, que estão diretamente associadas ao risco de inadimplência e, portanto, requerem maior atenção na gestão dos riscos.

Baseado na amostra utilizada e nos resultados anteriormente apresentados, pode-se inferir pela não rejeição da hipótese de que o tamanho da carteira de crédito e as provisões para devedores duvidosos, a pesquisa pode contribuir significativamente para a melhoria das práticas de gestão de risco bancário, fortalecer a confiança no sistema financeiro e apoiar a formulação de políticas regulatórias mais eficazes.

CONCLUSÃO

O objetivo principal desta pesquisa é investigar como a carteira de crédito impacta o saldo das provisões para devedores duvidosos constituídas por bancos registrados no portal do Banco Central do Brasil, no período de 2015 a 2023. Foram analisadas as variáveis provisões para devedores duvidosos, operações de crédito, receita das operações de crédito e a taxa Selic dos bancos registrados no portal do Banco Central do Brasil, no período de 2015 a 2023. Foram usadas como técnicas de estatística descritiva, diferença de médias, análise de correlação e análise de regressão.

Os resultados da análise indicam que as operações de crédito e a taxa Selic têm impacto significativo e positivo sobre a constituição das provisões para devedores duvidosos, enquanto a receita de operações de crédito, apesar de seu crescimento constante, não apresentou um efeito estatisticamente relevante nas provisões ao longo dos anos.

O principal resultado da pesquisa destaca que a gestão das provisões para devedores duvidosos é mais sensível às variações nas operações de crédito

e nas condições macroeconômicas (como a taxa Selic) do que ao crescimento direto da receita de operações de crédito.

A limitação da pesquisa consiste na utilização de poucas variáveis para representar as operações de crédito dos bancos brasileiros. Portanto, podem-se elencar como sugestões para pesquisas futuras o uso de outros tipos de variáveis representativas das operações de crédito, como a qualidade da carteira de crédito ou as taxas de juros médias cobradas por cada banco.

REFERÊNCIAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução Conselho Monetário Nacional nº 2.682, 21 de dezembro de 1999**. Dispõe sobre critérios de classificação das operações de crédito e regras para constituição de provisão para créditos de liquidação duvidosa. Disponível em: < <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o&numero=2682> >. Acesso em: 8 jan. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução Conselho Monetário Nacional nº 4.966 de 25 de novembro 2021**. Dispõe sobre os conceitos e os critérios contábeis aplicáveis a instrumentos financeiros, bem como para a designação e o reconhecimento das relações de proteção (contabilidade de hedge) pelas instituições financeiras e demais instituições autorizadas a funcionar pelo Banco Central do Brasil. Disponível em: < <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o%20CMN&numero=4966> >. Acesso em: 8 jan. 2025.

BORGES, D. S.; DOS SANTOS, G. E.; PRISCILLA, L. S.; HENRIQUE, M. R.; SAPORITO, A. Os impactos das perdas estimadas em créditos de liquidação duvidosa na pandemia da COVID-19 no Itaú Unibanco. **Revista Conhecimento Contábil**, v. 11, n. 01, p. 1-23, 2021.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. The lagrange multiplier test and its application to model specification in econometrics. **The Review of Economic Studies**, v. 47, n. 1, p. 239-253, 1980.

HAUSMAN, J. Specification tests in econometrics. **Econometrica**, v. 46, n. 6, p. 1251-1271, 1978.

SILVA, K. O.; ROBLES JÚNIOR, A. Provisão para créditos de liquidação duvidosa (PCLD) calculada conforme as normas do BACEN e IFRS: Comparação. **CAFI – Contabilidade, Atuária, Finanças & Informação**, v. 1, n. 1, p. 4-21, 2018.

RUTSCHKA, S. **Impacto do Edital 60/2018 sobre PECLD nas Instituições Financeiras do Brasil**. 161 f. 2019. Tese (Doutorado em Controladoria e Contabilidade) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

STOLF, W. A.; LIMA, R. A. S. Quantificação do risco de crédito: um estudo de caso utilizando o modelo Creditrisk. **Revista de Economia e Administração**, v. 7, n. 4, p. 459-480, 2008.

RELATO DE CASO: MÚLTIPLAS NEOPLASIAS MALIGNAS PRIMÁRIAS UROLÓGICAS EM PACIENTE MASCULINO DE 58 ANOS

Nívea Carolina Soares Silva Medina
Universitário de Caratinga (UNEC)

Robson Salaroli
Universitário de Caratinga (UNEC)

RESUMO

Paciente masculino, 58 anos, com histórico de três neoplasias malignas primárias metacrônicas: carcinoma epidermoide de pênis (2016), tratado com penectomia total; carcinoma de células renais tipo células claras (2024), tratado com nefrectomia radical direita; e adenocarcinoma acinar da próstata (2024), atualmente em vigilância ativa. O paciente apresenta bom controle clínico, sem evidência de recidiva ou metástase, e permanece em seguimento ambulatorial. Este relato destaca a importância do diagnóstico precoce, da abordagem terapêutica individualizada e da vigilância multidisciplinar no manejo de múltiplos tumores primários urológicos.

Palavras-chave: neoplasias múltiplas; câncer de pênis; carcinoma de células renais; câncer de próstata; vigilância ativa.

INTRODUÇÃO

As neoplasias múltiplas primárias metacrônicas representam um desafio clínico significativo, especialmente quando envolvem órgãos urológicos distintos. Este estudo aborda o caso de um paciente masculino de 58 anos, residente de um município do estado de Minas Gerais, diagnosticado com três neoplasias malignas primárias: carcinoma epidermoide de pênis (2016), carcinoma de células renais (2024) e adenocarcinoma de próstata (2024). A análise desse caso permite discutir aspectos relacionados à incidência, tratamento e prognóstico dessas neoplasias no contexto brasileiro.

O câncer de pênis é uma neoplasia rara em países desenvolvidos, mas apresenta maior incidência em regiões com condições socioeconômicas desfavoráveis. No Brasil, representa cerca de 2% dos cânceres masculinos, sendo mais prevalente nas regiões Norte e Nordeste¹. Entre 2013 e 2022, foram registrados aproximadamente 19.900 casos no país, com 5.600 pacientes submetidos à amputação do órgão devido a complicações da doença². O tratamento padrão envolve a penectomia parcial ou total, dependendo da extensão da lesão, com possibilidade de linfadenectomia inguinal em casos avançados³.

O carcinoma de células renais (CCR) é responsável por cerca de 3% dos tumores malignos urológicos⁴. De acordo com dados da Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), estima-se que em 2022 o Brasil registrou mais de 11 mil casos de câncer de rim, sendo 7 mil em homens. A doença é mais comum em pessoas com idade entre 50 e 70 anos⁵. O tratamento de escolha para tumores localizados é a nefrectomia parcial ou radical, dependendo do tamanho e localização da lesão. No caso em questão, o paciente foi submetido à nefrectomia radical direita, com margens cirúrgicas livres e estadiamento pT1a, indicando um prognóstico favorável.

O câncer de próstata é o tipo mais comum entre os homens brasileiros, excluindo os cânceres de pele não melanoma. Para o triênio 2023-2025, o Instituto Nacional de Câncer (INCA) estima 71.730 novos casos anuais no país, com um risco estimado de 67,86 casos por 100 mil homens⁶. O tratamento varia conforme o estadiamento e agressividade do tumor, podendo incluir vigilância ativa, cirurgia, radioterapia e terapia hormonal. No presente caso, o paciente

apresenta um adenocarcinoma acinar da próstata de baixo risco (Gleason 3+3=6), sendo manejado com vigilância ativa, conforme diretrizes urológicas atuais.

A ocorrência de múltiplas neoplasias primárias em um único paciente destaca a importância do acompanhamento clínico rigoroso e da vigilância contínua. Fatores como idade, histórico familiar e hábitos de vida, incluindo tabagismo, podem contribuir para o desenvolvimento de diferentes tipos de câncer⁷. Este caso enfatiza a necessidade de abordagens multidisciplinares no manejo de pacientes oncológicos complexos, visando à detecção precoce e ao tratamento adequado de neoplasias múltiplas.

OBJETIVO

Ilustrar o diagnóstico, manejo e acompanhamento de um paciente oncológico com múltiplas neoplasias primárias metacrônicas, abordando as particularidades do tratamento de cada tipo de câncer (carcinoma epidermoide de pênis, carcinoma de células renais e adenocarcinoma de próstata) e a importância do seguimento clínico contínuo. O caso busca enfatizar a complexidade da gestão de tumores primários simultâneos e a necessidade de uma abordagem multidisciplinar para otimizar os resultados terapêuticos e a qualidade de vida do paciente.

Além disso, o relato visa discutir as implicações clínicas e epidemiológicas dessa condição, destacando a importância da vigilância ativa, especialmente em um contexto de fatores de risco como tabagismo e comorbidades, e fornecer informações relevantes para o aprimoramento do conhecimento médico sobre as opções de tratamento e as diretrizes atuais para cada tipo de neoplasia presente.

MÉTODO

Trata-se de um relato de caso clínico descritivo, baseado na análise retrospectiva de prontuário médico de um paciente masculino, 58 anos, com diagnóstico de três neoplasias malignas primárias: carcinoma epidermoide de pênis, carcinoma de células renais e adenocarcinoma de próstata. Foram coletadas informações clínicas, laboratoriais, radiológicas e anatomopatológicas, organizadas de forma cronológica. Todos os dados foram anonimizados,

em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde. A discussão fundamenta-se em literatura científica atual e diretrizes oncológicas nacionais e internacionais.

RELATO DE CASO

Paciente do sexo masculino, 58 anos, com histórico clínico e oncológico complexo, encontra-se em acompanhamento ambulatorial especializado. O quadro teve início em abril de 2016, quando foi diagnosticado com carcinoma epidermoide invasivo de pênis. Na ocasião, foi submetido à penectomia total. O exame anatomopatológico revelou carcinoma de células escamosas da glândula, pouco diferenciado, com infiltração superficial do corpo esponjoso e margens cirúrgicas livres, sendo estadiado como pT2 pNX. Desde então, o paciente realizou seguimento oncológico regular, sem evidência de recidiva local ou à distância até o momento.

Em janeiro de 2024, após achados incidentais em exames de imagem, foi diagnosticado com um segundo tumor primário: carcinoma de células renais tipo células claras, localizado no polo superior do rim direito. A lesão media 3,0 x 2,5 cm, apresentava grau nuclear 1 e não demonstrava sinais de invasão vascular, linfática ou de estruturas adjacentes. O paciente foi então submetido à nefrectomia radical direita em 25 de janeiro de 2024, sem intercorrências no intra ou pós-operatório. Evoluiu com boa recuperação e cicatrização adequada da ferida operatória. O laudo anatomopatológico confirmou margens cirúrgicas livres e estadiamento pT1a.

Ainda em 2024, durante a rotina de seguimento oncológico, foram observadas elevações progressivas nos níveis de PSA: 5,96 ng/mL em abril de 2023 e 8,06 ng/mL em março de 2024. Isso levou à realização de biópsia transretal da próstata, que revelou proliferação focal de pequenas glândulas atípicas, sugestivas, mas inicialmente não diagnósticas de adenocarcinoma. A investigação foi aprofundada com imuno-histoquímica, que confirmou a presença de adenocarcinoma acinar da próstata, escore de Gleason 3+3=6 (ISUP 1), sem invasão perineural, angiolinfática ou extracapsular, e com acometimento limitado a até 5% do tecido analisado. A ressonância magnética multiparamétrica

da próstata evidenciou padrão compatível com PIRADS 2, sugerindo baixa probabilidade de neoplasia clinicamente significativa.

O paciente é hipertenso e diabético, embora refira uso irregular ou descontinuação espontânea de enalapril e metformina, sem data precisa. Também é tabagista ativo e relata história familiar de neoplasia em irmão, sem maiores detalhes.

No exame físico recente, apresentava genitália externa sem alterações, pênis sem sinais de recidiva tumoral, meato uretral preservado e toque retal compatível com próstata discretamente aumentada, com leve endurecimento no ápice direito. A ferida operatória da nefrectomia mantinha ótimo aspecto.

Os exames de imagem realizados no contexto de estadiamento e acompanhamento incluíram tomografia computadorizada de tórax e pelve, além de ressonância magnética de abdome e de próstata. Todos descartaram recidivas ou metástases nos sítios previamente acometidos. Um micronódulo pulmonar sólido, não calcificado, com 0,5 cm de diâmetro no segmento posterior do lobo superior direito, permanece indeterminado, porém estável em exames seriados, não apresentando critérios para suspeita de malignidade no momento.

PROGNÓSTICO E ACOMPANHAMENTO

Atualmente, o paciente encontra-se em seguimento clínico com vigilância ativa para o adenocarcinoma prostático de baixo risco, conforme diretrizes urológicas. O estadiamento geral não evidencia doença metastática ou recidiva, e os achados são compatíveis com resposta global completa aos tratamentos anteriores, segundo os critérios RECIST 1.1.

DISCUSSÃO

O presente relato descreve um caso incomum de múltiplas neoplasias malignas primárias metacrônicas em um paciente do sexo masculino de 58 anos, envolvendo três tipos distintos de câncer urológico: carcinoma epidermoide de pênis, carcinoma de células renais tipo células claras e adenocarcinoma acinar da próstata. A ocorrência sequencial desses tumores em um mesmo indivíduo

levanta importantes questões clínicas e epidemiológicas, além de ressaltar a necessidade de uma vigilância oncológica contínua e individualizada.

O câncer de pênis, embora raro em países desenvolvidos, apresenta maior prevalência em regiões com baixos índices socioeconômicos e está frequentemente associado à má higiene genital, infecção pelo HPV e fimose não tratada⁸. No Brasil, a taxa de incidência é considerada elevada, com cerca de 2.000 a 3.000 novos casos anuais, sendo particularmente frequente nas regiões Norte e Nordeste do país (INCA, 2023)⁶. O tratamento de escolha para casos localizados e invasivos, como o apresentado, é a penectomia parcial ou total, a depender do grau de comprometimento peniano, sendo fundamental a obtenção de margens cirúrgicas livres, como ocorreu neste caso. A ausência de recidiva local ou à distância por um longo período reforça o sucesso do tratamento inicial.

O segundo diagnóstico oncológico, o carcinoma de células renais, também tem apresentado aumento na sua detecção, em grande parte devido à maior disponibilidade e utilização de exames de imagem abdominal. Representa aproximadamente 2 a 3% de todas as neoplasias malignas em adultos, sendo mais comum em homens e geralmente diagnosticado entre a quinta e sétima décadas de vida⁹. O tratamento de tumores localizados, como o encontrado neste paciente, é cirúrgico, com nefrectomia parcial ou radical. O estadiamento pT1a e a ausência de invasão vascular ou de estruturas adjacentes indicam bom prognóstico, com baixos índices de recorrência.

Já o adenocarcinoma de próstata é o câncer mais frequente entre os homens no Brasil, excluindo os tumores de pele não melanoma. De acordo com o INCA, são estimados mais de 71 mil novos casos anuais no país⁶. O rastreamento por PSA e toque retal permite a detecção precoce da doença, sendo os tumores de baixo risco candidatos à vigilância ativa — abordagem indicada neste caso. O escore de Gleason 3+3=6 (ISUP 1), a ausência de invasão extracapsular ou perineural, e o achado de PIRADS 2 na ressonância multiparamétrica sustentam essa conduta conservadora, com foco em qualidade de vida e monitoramento rigoroso.

A presença de três neoplasias primárias distintas em um mesmo paciente, sem evidência de metástases entre si, configura um caso raro de múltiplas neoplasias primárias metacrônicas, cuja etiologia pode envolver predisposição genética, exposição ambiental ou carcinogênese associada a fatores de risco

como tabagismo, que está presente neste caso. Embora não haja relato de síndromes hereditárias específicas, o histórico familiar positivo de câncer em um irmão sugere possível predisposição que mereceria investigação genética complementar em contextos específicos.

CONCLUSÃO

O presente relato de caso evidencia a complexidade do manejo clínico de pacientes com múltiplas neoplasias malignas primárias metacrônicas, particularmente quando estas envolvem órgãos do trato urológico. O paciente em questão, diagnosticado com carcinoma epidermoide de pênis, carcinoma de células renais e adenocarcinoma de próstata, recebeu condutas terapêuticas específicas para cada neoplasia, de acordo com as diretrizes clínicas vigentes, alcançando boa resposta oncológica até o momento.

A ausência de recidiva ou metástases, associada ao controle clínico eficaz, reforça a importância do acompanhamento contínuo e multidisciplinar, bem como da individualização terapêutica baseada no estadiamento e nas características histopatológicas de cada tumor. O caso também destaca a relevância da vigilância ativa em tumores prostáticos de baixo risco e da detecção precoce por meio de exames de imagem e laboratoriais. Por fim, este relato contribui para o corpo de evidências sobre a ocorrência e manejo de neoplasias múltiplas em um mesmo indivíduo, ressaltando a necessidade de atenção especial a fatores de risco e comorbidades no seguimento de longo prazo.

Dessa forma, o presente caso reitera a importância do seguimento multidisciplinar e da vigilância ativa em pacientes com histórico oncológico, especialmente quando há fatores de risco comportamentais ou comorbidades mal controladas, como hipertensão e diabetes. A evolução clínica favorável até o momento, com ausência de recidivas ou metástases detectáveis, está de acordo com os critérios de resposta completa definidos pelo RECIST 1.1 e evidencia a eficácia das condutas adotadas.

REFERÊNCIAS

1. DUARTE, B. L. (2024). Associação do perfil inflamatório infiltrado no câncer peniano com fatores de risco: potencial como marcador de prognóstico.
2. Agência Brasil. País tem quase 20 mil novos diagnósticos de câncer de pênis em 9 anos [Internet]. Brasília: EBC; 2024 Fev 04 [citado 2025 Abr 15]. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2024-02/pais-tem-quase-20-mil-novos-diagnosticos-de-cancer-de-penis-em-9-anos>
3. FAHEL, D. P. (2023). Análise epidemiológica da mortalidade por neoplasia de pênis no Brasil uma análise quantitativa e qualitativa.
4. Brásio, R. M. D. (2009). Nefrectomia parcial no carcinoma de células renais (Master's thesis, Universidade de Coimbra (Portugal)).
5. Instituto Oncoguia. Estatística para câncer de rim [Internet]. São Paulo: Instituto Oncoguia; c2023 [acesso em 15 abr. 2025]. Disponível em: <https://www.oncoguia.org.br/conteudo/estatistica-para-cancer-de-rim/6844/239/>
6. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (INCA). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil [Internet]. Rio de Janeiro: INCA; 2022 [acesso em 15 abr. 2025]. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/publicacoes/livros/estimativa-2023-incidencia-de-cancer-no-brasil>
7. Pereira, D. K. N., de Souza Rios, A. C., do Nascimento, R. P., de Oliveira Ferreira, R. L., do Nascimento, R. M., Nogueira, W. C., ... & de Arruda, E. F. (2024). FATORES DE RISCO ASSOCIADOS AO CÂNCER DE PRÓSTATA: REVISÃO INTEGRATIVA. REVISTA FOCO, 17(10), e6709-e6709.
8. Coelho, M. O. S. (2023). Avaliação do prognóstico de pacientes com câncer de pênis do Hospital PUC Campinas.
9. Instituto Oncoguia. Câncer de rim [Internet]. São Paulo: Instituto Oncoguia; 2024 [acesso em 15 abr. 2025]. Disponível em: <https://www.oncoguia.org.br/conteudo/cancer-de-rim/116/112/>

RESPOSTA FISIOLÓGICA DE SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Solanum lycopersicum* SUBMETIDAS À EXSUDATOS DE SEMENTES DE *Cajanus cajan* E *Bauhinia forficata*

Raquel Valmorbida

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Campus de Cascavel – PR

Rennan Oliveira Meira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Campus de Cascavel – PR

Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Campus de Cascavel – PR

Weverton Krein

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Campus de Cascavel – PR

Andréa Maria Teixeira Fortes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
Campus de Cascavel – PR

RESUMO

É de interesse investigar a interação biológica ocorrente na germinação entre sementes de distintas espécies empregadas na muvuca de sementes. O objetivo foi averiguar o potencial alelopático de exsudatos de sementes de *C. cajan* e *B. forficata*, sobre a germinação, desenvolvimento inicial e atividade de sistemas antioxidantes em espécie bioindicadora, o tomate. Os tratamentos foram: No tomate foram avaliadas variáveis de germinação, desenvolvimento inicial, atividade enzimática (SOD, CAT e POD) e Peroxidação Lipídica. A germinação e desenvolvimento inicial de tomate foram estimulados pelos exsudatos de *C. cajan*. O exsudato da fase I de *B. forficata* aumentou o comprimento da parte aérea de plântulas. O exsudato da fase II de *C. cajan* aumentou a atividade das enzimas antioxidantes do tomate, sem afetar a peroxidação lipídica. Conclui-se, que o exsudato das sementes de *C. cajan* e *B. forficata* não afetaram negativamente a germinação, desenvolvimento inicial e atividade enzimática antioxidante da planta bioindicadora.

Palavras-chave: muvuca de sementes; adubo verde; enzimas antioxidantes; curva de embebição; exsudatos de sementes; *C. cajan*; *B. forficata*.

INTRODUÇÃO

Semeadura de espécies florestais juntamente com leguminosas de adubação verde é denominada muvuca de sementes, técnica usada como alternativa para restauração ecológica de áreas degradadas. É uma opção mais econômica que o plantio convencional de mudas, podendo ser implantado em locais de difícil acesso e declividade acentuada (Mattei, 1995). Este sistema de semeadura tem sido implantado em diversas regiões do Brasil, e o seu uso é estimulado por instituições públicas e privadas (Malavasi & Gasparino 2005; Oliveira, 2013; Pietro-Souza & da Silva, 2015).

Bauhinia forficata ou popular pata de vaca, é uma das espécies florestal potencial para uso na muvuca de sementes, pertencente à família Fabaceae. Apresenta comportamento pioneiro no estágio sucessional, de ocorrência em toda Mata Atlântica e, muito utilizada em sistema de restauração ecológica (Lorenzi, 1998).

Uma das espécies mais empregada como adubo verde na muvuca é *Cajanus cajan*, popular feijão guandu, da família Fabaceae (Pietro-Souza & da Silva, 2015). Nativo da África Tropical Ocidental, com porte arbustivo ereto de 2 a 3 metros de altura. A espécie tem rápido crescimento, e potencial produtivo de massa seca para a cobertura do solo (Lima-Filho *et al.*, 2014), com importante papel na adubação através da fixação de nitrogênio, possui ciclo de vida de aproximadamente três anos, o que dificulta uma ação invasora (Beltrame & Rodrigues, 2008).

A germinação das sementes de qualquer espécie é iniciada com a absorção ou embebição de água, para ativação da mobilização de reservas e enfraquecimento da parede celular (Taiz & Zeiger, 2013). Há três fases de embebição, sendo que na primeira prevalece o processo físico de hidratação, e inicia a exsudação de conteúdos celulares como potássio, aminoácidos, monossacarídeos e outros. Na segunda fase há ativação de processos metabólicos, com taxa de hidratação reduzida para a maioria das sementes. A terceira fase é metabólica, definida pela protrusão da radícula, por isso, considerada como um evento pós-germinativo (Pinã-Rodrigues *et al.*, 2015).

Logo, no sistema de plantio pela muvuca de sementes ocorrerá uma interação biológica de exsudatos de sementes ou plântulas de diferentes

espécies. E neste processo de exsudação, são liberadas substâncias providas do metabolismo secundário (Souza Filho *et al.*, 2011), chamadas de aleloquímicos, que podem estimular ou suprimir o desenvolvimento e o crescimento de outras plantas, esta interação química é chamada de alelopatia (Teasdale *et al.*, 2012).

A alelopatia estuda os efeitos da lixiviação ou volatilização de tecidos vegetais mortos, ou de exsudatos radiculares e de sementes sobre microrganismos e plantas circunvizinhas (Calabrese & Baldwin, 2003; Pinã-Rodrigues *et al.*, 2015). Estudos experimentais revelaram o efeito alelopático hormético ou benéfico de tais exsudatos sobre outras plantas (Yokotani-Tomita *et al.*, 1988; Higashinakasu *et al.*, 2004; An, 2005). Assim, o meio científico começou a utilizar o conceito de hormese dentro do contexto de alelopatia (Reigosa *et al.*, 1999; Calabrese & Baldwin, 2003). Contudo, há também o efeito alelopático supressor dos exsudatos de sementes, observado por Kushima *et al.*, (1998), Ohno *et al.*, (2001), Higashinakasu *et al.*, (2004) e Simões *et al.*, (2009).

Ambos os processos alelopáticos, de inibição ou hormese, atuam diretamente, no metabolismo celular, por meio da produção e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), resultando em estresse oxidativo (Okazaki, 1997; Bogatek & Gniazdowska, 2007). Assim, as enzimas do metabolismo antioxidativo, como Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Peroxidase (POD), são responsáveis pela eliminação desses ROS formados em tecidos vegetais (Gill & Tuteja, 2010). Entretanto, quando estas enzimas não conseguem combater os ROS, ocorre dano de membrana celular, pela peroxidação lipídica (MDA) (Bogatek & Gniazdowska, 2007).

Perante isso, é necessária a investigação da interação biológica que ocorre entre as diferentes espécies usadas na muvuca, para compreender a fisiologia da germinação e desenvolvimento de plântulas, sujeitas à exposição dos exsudatos de sementes de distintas espécies.

Deste modo, o objetivo do trabalho foi averiguar o potencial alelopático de exsudatos de sementes de *C. cajan* e *B. forficata*, nas diferentes fases de embebição, sobre a germinação, desenvolvimento inicial e atividade de sistemas antioxidantes em uma espécie bioindicadora, o tomate.

MATERIAIS E MÉTODOS

As sementes *Bauhinia forficata* Link. foram coletadas em novembro de 2014 numa área rural do município de Capanema-PR (-25.668184 Sul, -53.729575 Oeste) pertencente ao Terceiro Planalto Paranaense, com solo do tipo Nitossolo Vermelho Distrófico (Bhering *et al.*, 2008), e clima do tipo Cfa temperado segundo Classificação de Koeppen (1948). Já as sementes do adubo verde *Cajanus cajan* (L.) Millsp. 'BRS Mandarin' e da espécie bioindicadora, tomate (*Solanum lycopersicum* L. 'Super Marmande'), foram adquiridas comercialmente.

Para aplicação dos tratamentos no teste de germinação e desenvolvimento inicial de tomate, foi necessário dispor as sementes de feijão guandú e *B. forficata*, precursoras de exsudato, em rolos (3 folhas) de papel Germitest® umedecidos com água destilada, e mantê-las em câmara de germinação, tipo B.O.D., com fotoperíodo de 12 horas luz/escuro e temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2$, pelas horas pré-determinadas de cada tratamento.

Ao atingir o tempo de cada fase da curva de embebição (Valmorbida *et al.*, 2022), as sementes precursoras do exsudato eram retiradas e em seu lugar dispostas sementes de tomate. A contagem de sementes de tomate germinadas foi realizada diariamente, até o sétimo dia após semeadura, sendo considerada como semente germinada aquela que apresentava no mínimo 2 mm de raiz primária (Hadas, 1976).

Foram avaliadas as seguintes variáveis de germinação: porcentagem de germinação (PG), tempo médio de germinação (TMG) segundo Edmond & Drapalla (1958), índice de velocidade de germinação (IVG) conforme Maguire (1962), índice de sincronização (U), segundo Labouriau & Agudo (1987) e frequência relativa da germinação (Fr); e variáveis de desenvolvimento inicial: comprimento médio da parte aérea e de raiz primária de plântulas.

Também foi analisada a atividade de enzimas antioxidantes nas plântulas de tomate, sete dias após semeadura: Superóxido Dismutase (SOD) conforme Beauchamp & Fridovich (1971), catalase (CAT) conforme proposto por Azevedo e colaboradores (1998), peroxidase (POD) de acordo com Teisseire & Guy (2000) e peroxidação lipídica (MDA) segundo Heath & Packer (1976).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições para todas as variáveis analisadas. Os dados obtidos atenderam

os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett) à $p < 0,05$. Portanto, fez-se uso de testes paramétricos para análise estatística, pela comparação de médias dos tratamentos com a testemunha através do Teste Dunnett, $p < 0,05$. E para comparar a diferença de cada fase da embebição dentro de cada espécie precursora do exsudato foi realizado Teste T-Student, $p < 0,05$; todos com auxílio do software livre R, versão 3.2.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de embebição foi fundamental para a definição dos tratamentos com os exsudatos de sementes, sendo dividida em duas fases principais para as espécies avaliadas: fase I e fase II. A fase II foi a que apresentou maior liberação de exsudatos pelas sementes, com maiores valores de condutividade elétrica. A análise fitoquímica dos exsudatos revelou a presença de metabólitos secundários como saponinas, taninos pirogálicos e triterpenoides, com variações entre as fases e espécies avaliadas (Valmorbida *et al.*, 2022).

A porcentagem de germinação do tomate não foi afetada pelos tratamentos de *B. forficata* (Tabela 1). De forma semelhante, Meinerz *et al.* (2011) e Carvalho *et al.* (2014) aplicando extrato aquoso de folhas de *C. cajan* sobre alface (*Lactuca sativa*) não observaram diferença estatística na porcentagem de germinação. Também Manoel *et al.* (2009) não encontraram significância para esta variável em sementes de tomate embebidas em extrato aquoso de folhas de *B. forficata*.

Sementes de tomate submetidas aos exsudatos de *C. cajan* apresentaram menor tempo médio de germinação e maior índice de velocidade de germinação em relação à testemunha (Tabela 1), demonstrando que essas sementes germinaram mais rápido com a aplicação destes tratamentos.

Esta precocidade na germinação do tomate, submetido aos exsudatos das sementes de *C. cajan* fica evidente nos gráficos de frequência relativa da germinação, onde aparecem picos unimodais na frequência, sendo que, picos mais altos sinalizam maior sincronização da germinação, com menor valor desta variável, mostrando que mais sementes germinaram ao mesmo tempo (Santana & Ranal, 2004; Dos Santos *et al.*, 2015). Portanto, para a fase I de embebição do *C. cajan*, houve maior sincronização, em relação à fase II, e das duas fases em relação à testemunha (Figura 1A-C).

O efeito de estímulo na germinação causada pelo exsudato das sementes de *C. cajan* pode ter sido causado pelo hormônio vegetal Brassinosteróide (BRs), que tem sua estrutura formada por triterpenóides pentacíclicos, composto presente nos exsudatos de ambas as fases de embebição das sementes do *C. cajan* (Valmorbida *et al.*, 2022) Segundo Mussig (2005), sementes em geral possuem altos níveis de BRs, o qual atua na germinação, interferindo na atuação de outros hormônios vegetais, como giberilina e ácido abscísico, promovendo aceleração do crescimento do embrião (Taiz & Zeiger, 2013).

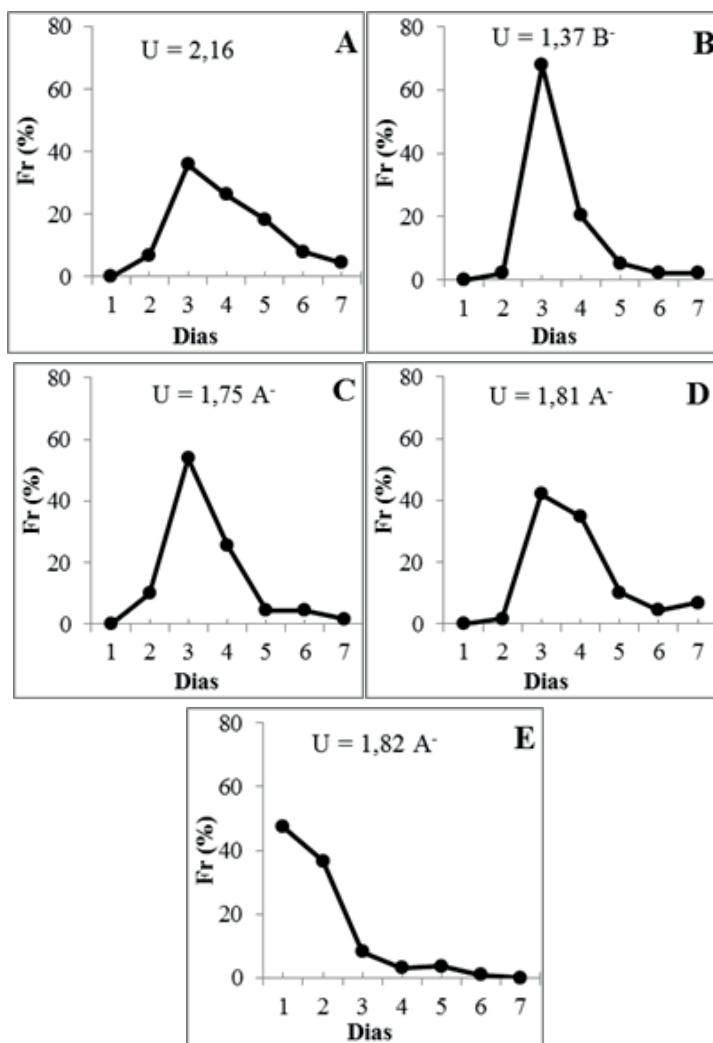
O exsudato de semente de *B. forficata* não influenciou o tempo médio nem o índice de velocidade de germinação nas sementes de tomate (Tabela 1). Contudo, com a aplicação destes tratamentos, a germinação foi mais sincronizada em relação à testemunha (Fig. 1A, D e E). Assim como em *B. forficata*, *Cecropia pachystachya*, *Peltophorum dubium* e *Sapium glandulatum* também apresentam saponina e tanino em seus extratos aquosos, e estes não influenciaram na germinação de sementes de alface (Maraschin-Silva & Aquila, 2006).

Tabela 1. Porcentagem de Germinação, Tempo Médio de Germinação e Índice de Velocidade de Germinação para sementes de tomate (*S. lycopersicum*) submetidas aos exsudatos de sementes das fases I e II da curva de embebição de *C. cajan* e *B. forficata*.

	PG (%)	TMG (sementes/dia)	IVG
Testemunha	87.5	3.98	12.09
<i>C. cajan</i>			
Fase I	95 Ans	3.44 A-	14.5 A+
Fase II	90 Ans	3.45 A-	14.05 A+
<i>B. forficata</i>			
Fase I	88 Ans	3.95 Ans	12.02 Ans
Fase II	86.5 Ans	3.91 Ans	11.74 Ans
CV%	4.78	5.7	6.23

Valores acompanhados de letras diferentes, diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 1. Frequência relativa da germinação (Fr) e índice de sincronização (U) de tomate (*Solanum lycopersicum*) embebido em água destilada – Testemunha (A); submetido aos exsudatos de sementes de *Cajanus cajan* nas fases I (B) e II (C) da curva de embebição, e submetidos aos exsudatos de *Bauhinia forficata* nas Fases I (D) e II (E) da curva de embebição. Médias seguidas pela mesma letra entre os gráficos B e C; D e E não diferem estatisticamente entre as fases de embebição de cada espécie pelo Teste T-Student, ($p < 0,05$); Significativo e inferior à testemunha pelo Teste de Dunnett, ($p < 0,05$).



Apesar dos exsudatos das sementes testadas apresentarem metabólicos secundários na solução de embebição, com potencial alelopático mencionado por Vyvyan (2002) e Taiz & Zeiger (2013), é importante salientar que, nem sempre essas substâncias podem atuar de forma nociva no vegetal, mesmo estando

presentes na solução (Aquila *et al.*, 1999), pois em conjunto esses aleloquímicos podem ter ação diferenciada, do que quando analisados isoladamente. Ademais, exsudatos são misturas complexas de compostos orgânicos e inorgânicos, ricos também em substâncias de reservas, como polissacarídeos, lipídeos e proteínas (Nelson, 2004), que por sua vez, podem beneficiar a germinação e o desenvolvimento das plântulas.

As plântulas de tomate, submetidas aos exsudatos das sementes de *C. cajan*, tiveram o crescimento de parte aérea e raiz estimulados pelos tratamentos, sobretudo no comprimento da raiz pelo exsudato da fase II de embebição. De forma semelhante, Yokotani-Tomita *et al.* (1988), Hasegama *et al.* (1992) e Iqbal & Fry (2012) pesquisando o efeito dos exsudatos de sementes de *Lepidium sativum* e *Arabidopsis thaliana*, verificaram que estes promoveram o alongamento do hipocótilo de plântulas de *Amaranthus caudatus* e *Celosia argentea*, numa proporção de crescimento 25 vezes maior comparado ao efeito da giberlina.

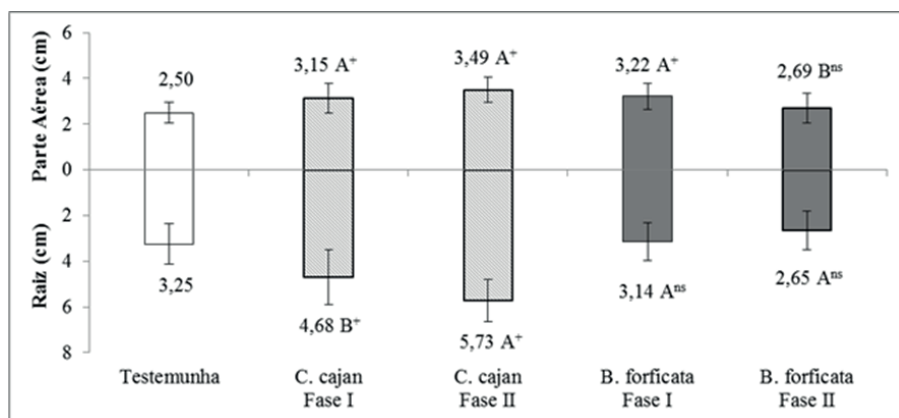
Desse modo sugere-se que o efeito de estímulo no crescimento em plântulas de tomate, assim como na germinação, ocorreu pela provável presença do hormônio BR, nos exsudatos das sementes do *C. cajan*. Pois, este hormônio, além de estimular a germinação, tem função bem caracterizada no crescimento e desenvolvimento vegetal (Taiz & Zeiger, 2013), promovendo alongamento e acelerando a divisão celular, principalmente em tecidos vegetais jovens, tanto de parte aérea, quanto raiz (Mussig, 2005). Este comportamento foi observado por Schlagnhauser & Arteca (1991), com a aplicação de BR em tomateiro, onde houve queda na produção de etileno nas folhas, e consequentemente, aumento da taxa de crescimento da planta.

O efeito de crescimento da raiz de plântulas de tomate submetido aos exsudatos da fase II de embebição das sementes de *C. cajan*, de 1,05 cm maior que as plântulas da fase I (Fig. 2), pode ter ocorrido, como já mencionado, pela maior quantidade de exsudatos deste tratamento, valorados pela condutividade elétrica. Segundo Alves & Santos (2002), este acréscimo do período de liberação de exsudatos resulta em maior intensidade da interferência alelopática, seja ela de estímulo ou de inibição, pelo aumento da quantidade de substâncias exsudadas, mas não necessariamente na concentração destas substâncias.

Embora a fase II de embebição do *C. cajan* apresente mais exsudatos, sugere-se que os aleloquímicos ali presentes, especialmente os triterpenóides

pentacíclicos, estejam em baixas concentrações, ou não haveria promoção do crescimento da raiz. Pois, segundo Mussig (2005), doses elevadas de BRs, derivados de triterpenóides pentacíclicos, inibem o crescimento deste órgão.

Figura 2. Comprimento médio de raiz e parte aérea de plântulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) submetido aos exsudatos de semente das fases I e II da curva de embebição de *Cajanus cajan* e *Bauhinia forficata*. Barras verticais indicam o desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre as fases de embebição de cada espécie (colunas da mesma cor/brochura) pelo Teste T-Student, ($p < 0,05$); + Significativo e superior à testemunha pelo Teste de Dunnett, ($p < 0,05$); - Significativo e inferior à testemunha pelo Teste de Dunnett, ($p < 0,05$); ns -Não significativo pelo Teste de Dunnett, ($p < 0,05$).



O exsudato das sementes da fase I de embebição de *B. forficata* aumentou o comprimento da parte aérea das plântulas de tomate em 0,72 cm em relação à testemunha, e em 0,53 cm em relação a fase I (Fig. 2). Pressupõe-se que, este estímulo do crescimento pode ter sido causado pela ação dos aleloquímicos, presentes nesses exsudatos. Pois, acredita-se que estejam em pequenas concentrações, nos exsudatos empregados neste trabalho. E sabe-se que em pequenas concentrações estes induzem a hormese, um fenômeno que promove o desenvolvimento vegetal, mediada pela expressão da enzima antioxidante sir-tuína, uma enzima que inibe a morte celular, melhorando a estrutura e a função das mitocôndrias, promovendo crescimento vegetal (Michán & Castillo, 2011).

O mecanismo do sistema antioxidante ocorre naturalmente nas células vegetais, pois, há produção de ROS durante a operação de transporte de elétrons da fotossíntese e respiração, sob condições aeróbias (Taiz & Zeiger, 2013). Este comportamento foi observado nas plântulas de tomate submetidas à fase I de embebição das sementes de *C. cajan* e, nas duas fases de embebição

de *B. forficata*. Pois, nota-se que estes tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha, quanto à atividade das enzimas antioxidantes (Tabela 2).

No entanto, quando a planta sofre um estresse, ocorre maior produção de ROS, aumentando assim a atividade destas enzimas, que tentam eliminar esses ROS, para não danificar as células (Costa *et al.*, 2019). Isto foi observado nas plântulas de tomate submetidas aos exsudatos da fase II das sementes de *C. cajan*, em que os aleloquímicos presentes neste tratamento podem ter promovido estresse oxidativo nas plântulas de tomate, já que, as enzimas antioxidantes avaliadas (SOD, CAT e POD), tiveram sua atividade aumentada (Tabela 2).

Esta condição de aumento na atividade das enzimas antioxidantes nas plântulas de tomate, coincidentemente se deu no tratamento da fase II de embebição do *C. cajan*, que também estimulou a germinação (Tabela 2; Fig. 1A-C) e o desenvolvimento inicial de tomate (Fig. 2). Isto pode ter ocorrido como consequência da condição de estresse a que o tomate foi submetido, pois, nestas condições ocorre a potencialização da ação dos BRs (Ikekawa & Zhao, 1991), que além de promoverem o crescimento vegetal, ainda aumentam a atividades das enzimas relacionadas à defesa celular, como catalase e superóxido dismutase (Zhu *et al.*, 2010).

Tabela 2. Atividade da enzima peroxidase (POD) superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidação lipídica (MDA) em plântulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) submetidas aos exsudatos de semente das fases I e II da curva de embebição de *Cajanus cajan* e *Bauhinia forficata*.

μmg^{-1} proteína		SOD	CAT	POD	MDA
		mKat mg^{-1} proteína	$\mu\text{mol min}^{-1}$ mg^{-1} proteína	nmol g^{-1} massa seca	
Testemunha		22,08	54,24	1,77	2,89
<i>C. cajan</i>	Fase I	75,76 Bns	79,11 Bns	2,62 Bns	3,14 Ans
	Fase II	144,31 A+	159,83 A+	8,17 A+	1,99 Ans
<i>B. forficata</i>	Fase I	72,71 Ans	35,48 Ans	2,61 Ans	3,42 Ans
	Fase II	59,55 Ans	51,86 Ans	2,38 Ans	3,31 Ans
CV (%)		64,01	88,96	75,55	42,63

CV: Coeficiente de variação em relação à média;
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre as fases de embebição de cada espécie pelo Teste T-Student, ($p < 0,05$);
+ Significativo e superior à testemunha pelo Teste de Dunnett, ($p < 0,05$).

Desta forma, o sistema enzimático antioxidante das plântulas de tomate foi eficaz na eliminação dos ROS, aumentando a expressão das enzimas antioxidantes

(SOD, CAT e POD), como forma de uma reposta adaptativa, aumentando assim a defesa celular e melhorando sua fisiologia (Silva & Ferrari, 2011; Corsato *et al.*, 2016). Pois, apesar dos exsudatos da fase II de embebição do *C. cajan* gerar estresse oxidativo, não houve dano de membrana, representado pela peroxidação lipídica ou MDA (Tabela 2), mantendo a integridade celular.

A peroxidação lipídica ocorre apenas em condições em que os ROS liberados pelo estresse ao aleloquímico não é eliminado eficientemente pelas enzimas antioxidantes, e ocorre então o rompimento da parede celular (Bogatek & Gniazdowska, 2007).

Por fim, resultados positivos para alelopatia, obtidos em laboratório, podem não se repetir em condições naturais, devido à ocorrência simultânea de diversos fatores bióticos e abióticos que podem mascarar este fenômeno. A conclusão definitiva dos efeitos observados neste trabalho está ligada a uma investigação mais ampla, que inclui outras abordagens experimentais, principalmente testes à campo e, com espécies receptoras florestais, para verificar estes efeitos em espécies utilizadas neste sistema. Além disso, sugere-se que seja feito a purificação e identificação das substâncias alelopáticas presentes nos exsudatos das sementes estudadas, para assim analisar seu comportamento alelopático isoladamente.

Acredita-se que sementes de *C. cajan* e *B. forficata* possuem potencial para plantio em sistemas de muvuca, destinadas à restauração ecológica.

CONCLUSÃO

Os exsudatos das sementes de *C. cajan* e *B. forficata* não afetaram negativamente a germinação, desenvolvimento inicial e atividade enzimática antioxidante da planta bioindicadora, tomate.

REFERÊNCIAS

Alves, S.M. & Santos, L.S. 2002. Natureza química dos agentes alelopáticos. *In*: Souza- Filho, A.P.S.; Alves, S.M. (Ed.). **Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: 25-47.

An, M. Mathematical modeling of dose–response relationship in allelopathy (hormesis) and its application. **Nonlinearity in Biology-Toxicology-Medicine**, v.3, p.153-172, 2005.

Aquila, M.E.A. *et al.* Preliminary observation on allelopathic activity in *Achyrocline satureioides* (Lam.) DC. **Acta Horticulturae**, v.502, p.383-388, 1999.

Azevedo, R.A. *et al.* Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p.280-292, 1998.

Beauchamp, C.; Fridovich, I. Superóxido dismutase: improved assays and a assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v. 44, p.87-276, 1971.

Beltrame, T.P.; Rodrigues, E. Comparação de diferentes densidades de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração florestal de uma área de reserva legal no Pontal do Paranapanema, SP. **Scientia Forestalis**, v.36, p.317-327, 2008.

Bhering, S.B. *et al.* 2008. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro, Embrapa/IAPAR.

Bogatek, R.; Gniazdowska, A. ROS and phytohormones in plant-plant allelopathic Interaction. **Plant Signaling & Behavior**, v.2, p.317-318, 2007.

Brasil. 2009. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS.

Calabrese, E.J.; Baldwin, L.A. Hormesis: the dose-response revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v.43, p.175-197, 2003.

Carvalho, W.P. *et al.* Alelopatia de extratos de adubos verdes sobre a germinação e crescimento inicial de alfafa. **Bioscience Journal**, v.30, p.1-11, 2014.

Costa, F.A. *et al.* Oxidative stress in the development of *Phaseolus vulgaris* (L.) Seedlings submitted to the exudate of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Seeds. **Journal of Agronomic Sciences**, v.8, p.99-110, 2019.

Corsato, J.M. *et al.* Estresse oxidativo mediado por aleloquímicos e suas implicações na germinação e crescimento inicial de plantas. **Journal of Agronomic Sciences**, v.5, p.136-150, 2016.

Dos Santos, M.A. *et al.* Aspectos morfológicos e fisiológicos da germinação e morfometria de frutos e sementes de *Swartzia recurva* Poepp. (Fabaceae). **Ciencia & Natura**, v.37, p.34-54, 2015.

Edmond, J.B.; Drapala, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v.71, p.428-434, 1958.

Gill, S.S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

Hadas, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solution. **Experimental of Botany**, p.480-489, 1976.

Hasegawa, K. *et al.* Isolation and identification of lepidimide, a new allelopathic substance from mucilage of germinated cress seeds. **Plant Physiology**, v.100, p.1059-1061, 1992.

Heath, R.L.; Packer, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.27, 1976.

Higashinakasu, K. *et al.* Effects of seed exudates of several plant species during germination stage. **Weed Biology and Management**, v.4, p.171-175, 2004.

Ikekawa, N.; Zhao, Y. Application of 24-epibrassinolide in agriculture. *In*: **Brassinosteroids: Chemistry, Bioactivity and Applications**, American Chemical Society, p.280-291, 1991.

Iqbal, A.; Fry, S.C. Potent endogenous allelopathic compounds in *Lepidium sativum* seed exudate: effects on epidermal cell growth in *Amaranthus caudatus* seedlings. **Journal of Experimental Botany**, v.436, p.1-10, 2012.

Koeppen, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México DF México: Fondo de cultura económica, 1948.

Kushima, M. *et al.* An allelopathic substance exuded from germinating watermelon seeds. **Plant Growth Regulation**, v.25, p.1-4, 1998.

Labouriau, L.G.; Agudo, M. On the physiology of germination in *Salvia hispanica* L. temperature effects. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.59, p.37-56, 1987.

Lima-Filho, D.F. *et al.* Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF. Embrapa, 1ed, v.1, 507p, 2014.

Lorenzi, H. 1998. Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Vol. 2. 2nd. ed. Nova Odessa, Brazil: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. 352p.

Maguire, J.B. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence vigor. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.

Malavasi, U.C. *et al.* Semeadura direta na recomposição vegetal de áreas ciliares: efeitos da sazonalidade, uso do solo, exclusão da predação, e profundidade na sobrevivência inicial. **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, p.449-454, 2005.

Manoel, D.D. *et al.* Atividade alelopática dos extratos fresco e seco de folhas de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) e pata de vaca (*Bauhinia forficata* link) sobre a germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de tomate. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, p.63-70, 2009.

Maraschin-Silva, F.; Aquila, M.E.A. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L.(Asteraceae). **Acta Botanica Brasilica**, v.20, p.61-69, 2006.

Matos FJA. 1997. Introdução à fitoquímica experimental. Fortaleza: Editora UFC, p.44-45.

Mattei, V.L. Preparo do solo e uso de protetor físico, na implantação de *Cedrela fissilis* V. e *Pinus taeda* L., por semeadura direta. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.1, p.127-132, 1995.

Meinerz, C.C. *et al.* Efeito alelopático de plantas de cobertura na germinação de sementes de alface. **Cadernos de Agroecologia**, v.5, p.1-5, 2011.

Mendonça, L.C. *et al.* Análise fitoquímica dos extratos de folhas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake e efeito sobre a germinação do milho. *In*: OPEN SCIENCE RESEARCH V. 1ed.São Paulo: Editora Científica Digital, 2022, v.5, p.274-288.

Michán, S.; Castillo, J.E. Genética Molecular Y Biogerontología En La Era Posgenômica: Un Enfoque En Las Sirtuinias. **Acta Biológica Colombiana**, v.16, p.139-159, 2011.

Mussig, C. Brassinosteroid-Promoted Growth. **Plant biology**, v.7, p.110-117, 2005.

Nelson, E.B. Microbial dynamics and interactions in the spermosphere. **Annual Review of Phytopathology**, v.42, p.271-309, 2004.

Neto, R.M. *et al.* 2010. Abordagem fitoquímica dos extratos de cascas do caule e folhas de pata-de-vaca da flor rosa. 14º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA. Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA.

Nogueira, A.C.; Sabino, C.V. Revisão do Gênero *Bauhinia* Abordando Aspectos Científicos das Espécies *Bauhinia forficata* Link e *Bauhinia variegata* L. de Interesse para a Indústria Farmacêutica. **Revista Fitos Eletrônica**, v.7, p.77-84, 2013.

Ohno, S. *et al.* A species-selective allelopathic substance from germinating sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds. **Phytochemistry**, v.56, p.577-581, 2011.

Okazaki, K. *et al.* Inhibitory effect of lepidimolide on senescence in *Avena* leaf segments. **Journal of Plant Physiology**, v.150, p.133-136, 1997.

Oliveira, R.A.M. Plantio consorciado de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e "muvuca" de sementes em sistema agroflorestal para recuperação de áreas de preservação permanente degradadas da Amazônia. **Cadernos de Agroecologia**, v.8, p.1-5, 2013.

Paixão, A. *et al.* Tamizaje fitoquímico de extractos metanólicos de *Tephrosia vogelii* Hook, *Chenopodium ambrosoides*, *Cajanus cajan* y *Solanum nigrum* L. de la provincia de Huambo, Angola. **Revista de Salud Animal**, v.36, p.164-169, 2014.

Pietro-Souza, W.; da Silva, N.M. Plantio manual de muvuca de sementes no contexto da restauração ecológica de áreas de preservação permanente degradadas. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v.9, p.63-74, 2015.

Pinã-Rodrigues, F.C.M. *et al.* 2015. Sementes florestais tropicais: da ecologia à produção. Londrina, PR. ABRATES, 477p.

Reigosa, M.J. *et al.* Ecophysiological approach in allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.18, p.577-608, 1999.

Ribeiro, M.I. *et al.* Curva de embebição, anatomia e mobilização de reservas em sementes de *Mimosa flocculosa* submetidas à superação de dormência. **Iheringia: Série Botânica**, v.76, p.1-11, 2021.

Santana, D.G. & Ranal, M.A. 2004. Análise da germinação – um enfoque estatístico. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 248 p.

Sarkar, R. *et al.* Anti-oxidative protection against iron overload-induced liver damage in mice by *Cajanus cajan* (L.) Millsp. leaf extract. **Journal Indian of Experimental Biology**, v.51, p.165-173, 2013.

Schlagnhaufer, C.D. & Arteca RN. The uptake and metabolism of brassinosteroid by tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. **Journal of Plant Physiology**, v.138, p.191-194, 1991.

Silva, W.J.M. & Ferrari, C.K.B. Metabolismo mitocondrial, radicais livres e envelhecimento. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v.14, p.441-451, 2011.

Simões, K. *et al.* Ipomopsin and hymenain, two biscoumarins from seeds of *Hymenaea courbaril*. **Phytochemistry Letters**, v.2, p.59-62, 2009.

Souza-Filho, A.P.S. *et al.* Sementes como fonte alternativa de substâncias químicas com atividade alelopática. **Planta Daninha**, v.29, p.709-716, 2011.

Taiz, L. & Zeiger, E. 2013. Fisiologia vegetal. 5ª ed, Artmed: Porto Alegre.

Teasdale, J.R. *et al.* Expression of allelopathy in the soil environment: soil concentration and activity of benzoxazinoid compounds released by rye cover crop residue. **Plant Ecology**, v.213, p.1893-1905, 2012.

Teisseire, H. & Guy, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v.153, p.65-72, 2000.

Valmorbida, R. *et al.* Análise fitoquímica e efeito alelopático de exsudatos de sementes na germinação e desenvolvimento inicial de espécies utilizadas em "muvuca". Open Science Research III. Editora Científica Digital, v.3, 2022.

Vyvyan, J.R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. **Tetrahedron**, v.58, p.1631-1646, 2002.

Yokotani-Tomita, K. *et al.* Growth-promoting allelopathic substance exuded from germinating *Arabidopsis thaliana* seeds. **Phytochemistry**, v.47, p.1-2, 1998.

Zhu, Z. *et al.* Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.56, p.50-55, 2010.

SÍNDROME DE BURNOUT EM PROFISSIONAIS DE ENFERMAGEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Liliana Gomes Nascimento
Instituto Politécnico de Bragança

Tânia Marisa Santos Rebelo
Instituto Politécnico de Bragança

Leonel São Romão Preto
Instituto Politécnico de Bragança

RESUMO

Introdução: Na última década, a incidência da Síndrome de Burnout (SB) aumentou significativamente, levando ao seu reconhecimento como distúrbio ocupacional em maio de 2019. Devido às suas consequências, a SB tornou-se um problema de saúde pública que gera preocupação tanto na comunidade científica quanto nas instituições. Entre os profissionais de enfermagem, pode comprometer a qualidade da assistência prestada aos utentes. **Objetivo:** Identificar na literatura científica a relação entre os fatores desencadeantes da Síndrome de Burnout em profissionais de enfermagem. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão sistemática da literatura com pesquisa de artigos nas bases de dados Web of Science, PubMed e Scopus. A estratégia de busca utilizou operadores booleanos e a abordagem [PI(C)O] para responder à questão: “Quais os fatores desencadeadores da Síndrome de Burnout nos enfermeiros?”. Após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão foram selecionados seis artigos para revisão. **Resultados:** Os seis artigos analisados identificaram diversos fatores desencadeadores da SB, com impacto direto na qualidade dos cuidados prestados. Observou-se um aumento da incidência nos últimos anos, afetando a qualidade de vida dos enfermeiros. A síndrome desenvolve-se em três eixos principais: alta despersonalização, exaustão emocional e baixa realização pessoal. **Conclusão:** Observou-se um aumento da incidência da SB ao longo dos anos, associado a diversos fatores desencadeadores. Assim, é fundamental que as instituições invistam em prevenção e reabilitação, considerando causas como ambientes de trabalho adversos, metas inatingíveis e a alta competitividade do setor.

Palavras-chave: síndrome de Burnout; enfermeiros; equipa de enfermagem; desempenho no trabalho; fatores de risco.

INTRODUÇÃO

A Síndrome de Burnout (SB), ou Síndrome da Exaustão Profissional, é uma condição ocupacional resultante do stress repetido no trabalho. Caracteriza-se por desgaste físico e emocional intenso, perda de satisfação profissional e tendência ao afastamento da atividade. O indivíduo sente que o trabalho perde o significado, tornando qualquer esforço aparentemente inútil (Sousa, 2011). Apesar de ainda pouco reconhecido e frequentemente negligenciado, o Burnout manifesta-se de diversas formas, incluindo esgotamento emocional, fadiga intensa, mal-estar geral, irritabilidade e despersonalização (Abreu *et al.*, 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconheceu a Síndrome de Burnout como um "fenómeno relacionado ao trabalho" em junho de 2018, incluindo-a na 11ª revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-11), apresentada em maio de 2019 e em vigor desde janeiro de 2022. Classificada sob o código QD85, na categoria "Problemas relacionados ao emprego e desemprego", a síndrome decorre do stress crónico no trabalho quando não é adequadamente gerido, sendo exclusiva do contexto profissional. Manifesta-se em três dimensões principais: exaustão ou falta de energia; distanciamento mental do trabalho, acompanhado de negativismo ou cinismo; e percepção de ineficácia e falta de realização pessoal (International Council of Nurses, 2015).

Conforme a Classificação Internacional para a Prática de Enfermagem (CIPE), do Conselho Internacional de Enfermeiros, o Burnout é descrito como um: "Processo de coping comprometido: depleção de energia devido a stresse continuado; falta de apoio e de relações, conflitos entre as expectativas e a realidade" (International Council Nurses, 2015).

Os profissionais de saúde enfrentam pressão crescente para seguir normas e aumentar a produtividade, muitas vezes em detrimento da autonomia e dignidade no trabalho. A Síndrome de Burnout resulta da interação de fatores individuais, como idade, género, experiência, centralidade no trabalho e rede de apoio, e organizacionais, incluindo sobrecarga, riscos, conflitos, definição de papéis, capacitação, participação nas decisões e suporte no ambiente de trabalho. Entre esses fatores, a exaustão emocional destaca-se como um dos principais preditores da síndrome (Lima *et al.*, 2013).

Segundo Peiro e Gil-Monte (1997) as consequências da Síndrome de Burnout ocorrem em quatro níveis: (a) Cognitivo e emocional – sentimentos de solidão, ansiedade, depressão, impaciência, impotência, dificuldade de atenção e concentração, distanciamento emocional e medo; (b) Atitudinal – cinismo, apatia, hostilidade e desconfiança; (c) Comportamental – conflitos familiares e conjugais, frustração, intolerância, oscilações de humor, isolamento, irritabilidade, perda de iniciativa, resistência à mudança e aumento do consumo de álcool e tabaco; (d) Psicossomático – palpitações, crises asmáticas, hipertensão, dores lombares, fadiga crónica, cefaleias, mialgias, alterações menstruais, úlceras gástricas, insónias e maior vulnerabilidade a alergias e infeções devido à imunidade reduzida.

Estudos indicam que os enfermeiros apresentam maior risco de Burnout em comparação a outros profissionais de saúde, devido às exigências físicas e emocionais da profissão (Suzuki *et al.*, 2006). Inicialmente, a investigação sobre Burnout em enfermeiros revelou uma correlação entre o tempo dedicado aos pacientes e a carga emocional sentida, especialmente no cuidado de pacientes com mau prognóstico. Outras pesquisas relacionam a síndrome a fatores como excesso de trabalho, suporte insuficiente, conflitos interpessoais, contacto com a morte e falta de preparação (Spooner-Lane e Patton, 2007; Sauter e Murphy, 1995). O tipo de serviço prestado influencia diretamente o bem-estar dos pacientes e a saúde dos enfermeiros, tornando-os mais vulneráveis a riscos emocionais. Independentemente do contexto de trabalho, o Burnout é um problema comum que pode levar à frustração, frieza e indiferença em relação ao sofrimento dos pacientes, reforçando a necessidade de estratégias eficazes de prevenção e tratamento.

Neste contexto, a enfermagem é uma profissão especialmente vulnerável à Síndrome de Burnout, pois os enfermeiros estão diretamente envolvidos no cuidado dos utentes, passando grande parte do tempo ao seu lado em diversos contextos. Nesta linha, o ambiente hospitalar pode comprometer a saúde física e mental devido ao contacto constante com dor, sofrimento, morte e perdas, além das condições de trabalho desfavoráveis e da remuneração inadequada.

Tendo em conta o anteriormente referido, o presente trabalho objetivou identificar na literatura científica a relação entre os fatores desencadeantes da Síndrome de Burnout em profissionais de enfermagem.

METODOLOGÍA

Este estudo consiste numa revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar e analisar estudos primários sobre o tema, contribuindo para a compreensão da problemática em questão.

A investigação seguiu o modelo PI@O, o qual estrutura a questão de pesquisa em quatro componentes: População (Population), Intervenção (Intervention), Comparação (Comparison) e Resultados (Outcome). Com base nesse modelo, a questão formulada para este estudo é: “Quais os fatores desencadeadores da Síndrome de Burnout nos enfermeiros?” O objetivo é identificar, na literatura científica, a relação entre esses fatores e o desenvolvimento da síndrome entre profissionais de enfermagem.

A Tabela 1 apresenta os critérios de inclusão e exclusão considerados relevantes para esta investigação.

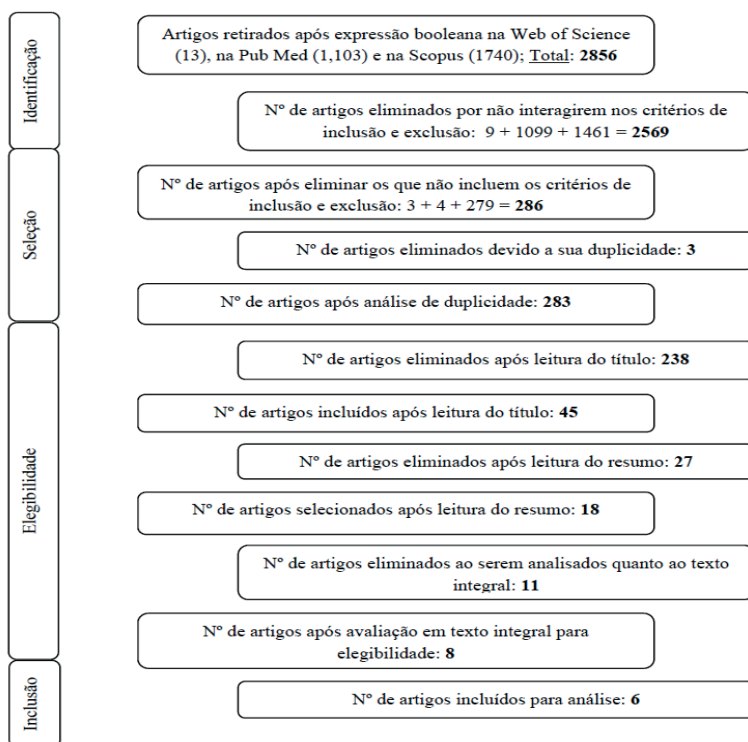
Tabela 1. Critérios de inclusão e exclusão.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
- Artigos publicados em texto integral; - Artigos na língua portuguesa, inglesa e espanhola; - Artigos publicados nos últimos cinco anos (do ano 2019 ao 2024) - Estudos primários.	- Artigos de acesso bloqueado; - Publicações do tipo carta; - Trabalhos duplicados; - Revisão sistemática de literatura.

A pesquisa foi realizada nas bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science, entre outubro e novembro de 2024. Utilizou-se uma expressão booleana para combinar palavras-chave, com os operadores “and”, “or” e “not”, de acordo com a estratégia PICO. As palavras-chave selecionadas foram: “Síndrome de Burnout”, “Enfermeiros”, “Equipa de enfermagem”, “Desempenho no trabalho” e “Fatores desencadeadores”. A combinação resultante (“burnout syndrome” OR “burnout” OR “emotional exhaustion”) AND (“nurses” OR “Nursing staff”) AND (“performance” OR “productivity”) AND (“triggers factors”) gerou 2856 artigos. Após aplicar os critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 6 artigos para análise.

A Figura 1 apresenta o fluxograma que sistematiza a seleção dos estudos para análise, utilizando o modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção de artigos.



A Figura 2 localiza no mapa-múndi a origem dos artigos selecionados.

Figura 2. Localização dos artigos selecionados.



RESULTADOS

As evidências identificadas em cada estudo estão resumidas nas tabelas seguintes:

Artigo 1: “Burnout and Physical Activity Predictors of Job Satisfaction Among Peruvian Nurses: The Job Demands – Resources Theory” (Romero-Carazas et al, 2024).

Objetivo(s)	Analisar a relação entre Burnout, exercício físico e satisfação no trabalho em enfermeiros do Peru, utilizando como base teórica a teoria JDR- (Job Demands – Resources).
Metodologia	Estudo multicêntrico, transversal e explicativo, que emprega a modelagem de equações estruturais para analisar variáveis latentes. O Burnout foi avaliado por um questionário baseado na versão original de Rohland, organizado em cinco categorias descritivas. A satisfação no trabalho foi medida por uma escala de 1 a 7 (1 – “Muito insatisfeito”; 7 – “Muito satisfeito”). A atividade física foi avaliada por um questionário baseado no International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), composto por sete itens.
População	420 enfermeiros, 306 do sexo feminino e 114 do sexo masculino.
Resultados	A atividade física medeia a relação entre Burnout e satisfação no trabalho, reduzindo o stress e promovendo o bem-estar psicológico, o que melhora o desempenho profissional e a eficácia nas tarefas. Além disso, o exercício regular atenua o esgotamento, especialmente em áreas da saúde com alta carga de stress. No entanto, manter hábitos regulares de atividade física é um desafio para os profissionais de saúde devido aos horários rotativos e à carga de trabalho elevada. A redução da satisfação no trabalho entre enfermeiros está diretamente associada à exaustão emocional e à menor realização pessoal. A falta de suporte organizacional, o déficit de profissionais e a carga horária elevada, incluindo turnos de 12 horas, aumentam o risco de Burnout.
Evidência	2b

Artigo 2: “Factors contributing to burnout among nurses at a district hospital in Namíbia: A qualitative perspective of nurses” (Ashipala e Nghole, 2022).

Objetivo(s)	Investigar os fatores que influenciam o desenvolvimento do Burnout entre enfermeiros.
Metodologia	Para a realização do estudo foram feitas entrevistas individuais com duração de aproximadamente 40-54 minutos, esta coleta de dados foi realizada em novembro de 2020.
População	Análise qualitativa, exploratória, descritiva e contextual. 20 enfermeiros pertencentes ao hospital de Gobabis, 15 mulheres e 5 homens.
Resultados	O estudo identificou que um ambiente desfavorável, carga excessiva de trabalho, falta de recursos e comunicação insuficiente contribuem para o Burnout. A escassez de equipamentos e a rotação entre serviços aumentam a exaustão, o stress e a insegurança dos enfermeiros, especialmente quando atuam fora da sua área de qualificação. A falta de apoio, reconhecimento e condições adequadas também afeta a autoestima e a qualidade dos cuidados prestados. Como estratégia, sugere-se a criação de ambientes mais seguros, redução da rotatividade, melhor distribuição de pacientes e aumento do número e formação de enfermeiros.
Evidência	4

Artigo 3: "Prevalence of burnout syndrome in nurses at a public hospital" (Marcelo et al, 2022).

Objetivo(s)	Analisar a incidência da síndrome de Burnout, as suas dimensões e fatores associados.
Metodologia	Estudo observacional transversal realizado em um hospital público no Rio de Janeiro. A coleta de dados ocorreu por questionário online via Google, com dois módulos: um sobre variáveis sociodemográficas e outro sobre Burnout, avaliado pela escala Maslach Burnout Inventory-Human Services Survey (MBI-HSS), composta por 22 questões distribuídas em três dimensões: Exaustão Emocional (9 itens), Despersonalização (8 itens) e Realização Pessoal (5 itens).
População	171 enfermeiros.
Resultados	Cerca de 35% dos profissionais trabalhavam 60 horas ou mais por semana. Em relação ao Burnout, 9,9% apresentaram alto nível de Exaustão Emocional, 7% alto nível de Despersonalização e 59,1% baixa Realização Pessoal. A incidência da SB foi de 62,6%. A presença de filhos associou-se a maior Realização Pessoal, enquanto sua ausência esteve ligada a níveis mais baixos. O tempo na instituição aumentou a exaustão emocional e reduziu a realização pessoal. Embora turnos acima de 40 horas afetem o bem-estar devido à privação de sono e sobrecarga, não houve correlação significativa com o Burnout. Homens mostraram maior predisposição à exaustão emocional e despersonalização, possivelmente por menor habilidade relacional e emocional. Recém-formados também foram identificados como grupo de risco devido à inexperiência, insegurança e menor autoconfiança.
Evidência	2b

Artigo 4: "Burnout entre enfermeiros: um estudo multicêntrico comparativo" (Borges e Queiróz, 2021).

Objetivo(s)	Determinar e analisar os níveis de Burnout entre enfermeiros espanhóis, portugueses e brasileiros.
Metodologia	Estudo quantitativo, descritivo, correlacional, comparativo e transversal, realizado entre 2016 e 2017 em hospitais e centros de saúde públicos de Espanha, Portugal e Brasil. Os participantes precisavam ter pelo menos seis meses de experiência profissional. A coleta de dados ocorreu por questionário sociodemográfico e profissional, além da escala Maslach Burnout Inventory-Human Services Survey (MBI-HSS), composta por 22 itens avaliados em uma escala de Likert de 0 (nunca) a 6 (todos os dias), distribuídos em três dimensões: Exaustão Emocional (9 itens), Despersonalização (5 itens) e Realização Pessoal (8 itens). O Burnout foi classificado como inexistente (<2 pontos), moderado (2 a 3 pontos) ou alto (>3 pontos).
População	1052 enfermeiros, sendo que 206 enfermeiros são de Porto-Portugal, 269 são de Oviedo-Espanha e 477 são de São Paulo-Brasil.
Resultados	Entre os enfermeiros portugueses e brasileiros, 42% apresentam Burnout moderado, enquanto 43% dos espanhóis têm níveis elevados. Em Portugal, a elevada exaustão emocional (59%) está associada ao maior tempo dedicado a cuidados diretos. Já enfermeiros que trabalham por turnos na Espanha e no Brasil apresentam Burnout mais baixo. Profissionais jovens (22-29 anos) são mais propensos ao Burnout devido à inexperiência e ansiedade diante de situações complexas. A carga de trabalho, o relacionamento com a equipe multiprofissional e o ambiente de trabalho influenciam o stress ocupacional. Diferenças na gestão emocional entre homens e mulheres também podem impactar negativamente o profissional e a organização. É essencial capacitar os enfermeiros para reconhecer sinais de Burnout e desenvolver estratégias de apoio na família, comunidade e local de trabalho para melhorar seu bem-estar.
Evidência	4

Artigo 5: “The role of occupational stress in the association between emotional labor and burnout in nurses: A cross-sectional study” (Zaghinia et al, 2020).

Objetivo(s)	Testar um modelo que avalie a influência do trabalho emocional no burnout entre profissionais de enfermagem, considerando o papel mediador do stress associado ao trabalho relatado pelos profissionais.
Metodologia	Estudo descritivo, transversal e correlacional, realizado em três hospitais na Itália, com enfermeiros dos serviços de medicina geral, cirurgia geral e onco-hematologia. A coleta de dados ocorreu por questionário de autorrelato em italiano. O Burnout foi avaliado pelas dimensões Emotional Exhaustion e Cynicism do Maslach Burnout Inventory – General Survey (MBI-GS), e diversas hipóteses foram formuladas.
População	207 enfermeiros, sendo que, 147 são do sexo feminino e 62 do masculino.
Resultados	Altos níveis de trabalho emocional e stress estão associados ao desenvolvimento do Burnout. Enfermeiros com mais anos de experiência relatam maior carga emocional, contribuindo para o esgotamento. As hipóteses do estudo foram confirmadas: o stress está ligado ao trabalho emocional e ao Burnout (H1 e H2), e essa relação é parcialmente mediada pelo stress ocupacional (H3 e H4). Os resultados indicam que, além do burnout, os enfermeiros enfrentam intensa carga emocional. Entre os serviços analisados, os enfermeiros de oncologia apresentam maior stress e Burnout devido ao contato frequente com sofrimento e morte, em comparação com os de medicina e cirurgia geral.
Evidência	4

Artigo 6: “Relationships of organizational behavior/mission congruence with burnout, secondary traumatic stress, and compassion satisfaction among nurses” (Brewer et al, 2023).

Objetivo(s)	Centra-se na cultura organizacional como fator predisponente do bem-estar dos enfermeiros.
Metodologia	Estudo transversal realizado em um hospital na Califórnia, Estados Unidos, entre dezembro de 2021 e janeiro de 2022. A coleta de dados foi feita por meio do Authentic Leadership Questionnaire, utilizado para avaliar as características positivas percebidas da liderança.
População	147 enfermeiros, com predominância no sexo feminino e a maior parte dos enfermeiros tinha mais de 10 anos de experiência.
Resultados	Os enfermeiros que percebem que os comportamentos da instituição, como decisões e políticas, estão alinhados com sua missão, são menos propensos a relatar Burnout e mais propensos a demonstrar satisfação no trabalho. Quando acreditam que a instituição cumpre sua missão, têm menor probabilidade de desenvolver despersonalização e exaustão emocional. O Burnout nos enfermeiros é resultado de múltiplos fatores de stress que os distanciam da conexão humana. Já os que trabalham em instituições fiéis aos seus valores são menos propensos à despersonalização e exaustão, permanecendo mais conectados ao trabalho e com atitude positiva. Os resultados sugerem que as ações e decisões das instituições de saúde impactam a satisfação dos enfermeiros no trabalho. Traços de liderança autêntica estão correlacionados com uma qualidade de vida positiva e inversamente com uma qualidade de vida negativa, aumentando a confiança dos enfermeiros em instituições que são seguras, fiéis e comprometidas com sua missão.
Evidência	2b

DISCUSSÃO

A SB, segundo a OMS (2000), resulta do stress no trabalho, caracterizando-se por exaustão emocional, baixa realização pessoal e despersonalização. Nos artigos analisados, observou-se uma correlação entre o Burnout e essas variáveis, que impactam diretamente na qualidade dos cuidados prestados aos pacientes.

Analisando os 6 artigos, verificou-se que a maioria dos participantes era do sexo feminino, com uma média de idade de 39,76 anos, o que confirma dados da Ordem dos Enfermeiros (2018) portugueses. Embora o sexo feminino seja predominante nas profissões de saúde, tem-se observado o aumento da presença masculina.

O Artigo 1 apontou que a prática de exercício físico está positivamente relacionada à satisfação no trabalho entre enfermeiros. Estudos indicam que a atividade física semanal melhora o humor, reduz o stress e promove um ambiente de trabalho saudável (Iwaasa e Mizuno, 2018). Além disso, a atividade física melhora a variabilidade da frequência cardíaca e a satisfação no trabalho, especialmente em serviços de alta pressão (Alrawashdeh *et al.*, 2021).

No Artigo 2, constatou-se que o Burnout surge quando enfermeiros trabalham fora da sua especialidade, gerando baixa realização pessoal, cansaço físico e psicológico e baixa produtividade (Pieters e Matheus, 2020). Ambientes de trabalho inadequados e sobrecarga na proporção enfermeiro-paciente são fatores desencadeantes da SB (Leite *et al.*, 2025).

O Artigo 3 analisou variáveis sociodemográficas, como a presença de filhos, com efeitos contraditórios. Embora a presença de filhos possa ser protetora, proporcionando equilíbrio emocional, também pode aumentar a sobrecarga e o stress (Vidotti *et al.*, 2018). Além disso, os homens apresentaram maior despersonalização, possivelmente devido à falta de habilidades relacionais exigidas pela profissão (Purvanova e Muros, 2010).

No Artigo 4, foi identificado que enfermeiros recém-formados têm maior propensão a desenvolver SB devido à inexperiência e ansiedade (Vasconcelos e Martino, 2018). O Burnout é comum tanto no início da carreira quanto após 10 anos de experiência (Guillén, 2017).

O Artigo 5 revelou que o stress ocupacional aumenta o risco de Burnout em enfermeiros, mediando a relação entre o trabalho emocional e o

Burnout. A enfermagem envolve exigências emocionais intensas, o que pode levar à supressão emocional e Burnout (Khamisa *et al.*, 2015; Kim e Han, 2017).

No Artigo 6, observou-se que a fidelidade da organização aos seus valores e missão é crucial para reduzir despersonalização e exaustão emocional. Outros estudos sugerem que ambientes de trabalho alinhados com esses valores promovem o bem-estar dos enfermeiros (Brenner *et al.*, 2022; Rushton, 2016).

Nos artigos 1, 2, 3 e 5, a carga horária excessiva foi identificada como um fator principal para o desenvolvimento do Burnout. A relação entre carga horária e stress está interligada, afetando o bem-estar dos profissionais e a qualidade dos cuidados prestados (Dalri *et al.*, 2014).

Os estudos analisados reforçam a multifatorialidade da SB, com ênfase em condições laborais inadequadas, carga emocional e falta de suporte institucional. Intervenções direcionadas a esses aspectos são essenciais para preservar o bem-estar dos enfermeiros e a qualidade dos cuidados, em consonância com uma revisão da literatura recente onde se destaca que sobrecarga de trabalho, ambiente inadequado e desgaste emocional são fatores que agravam a SB e impactam a saúde mental dos enfermeiros, comprometendo a qualidade dos cuidados (Silva *et al.*, 2021).

CONCLUSÃO

A análise dos seis artigos evidenciou o aumento progressivo da SB entre enfermeiros, impulsionado por fatores como carga horária excessiva, desproporção enfermeiro-utente, salários baixos, competitividade, turnos desgastantes e responsabilidade inerente à profissão. Estas condições, somadas à falta de suporte institucional e ambientes laborais adversos, exacerbam o desgaste físico e emocional. As instituições enfrentam desafios contínuos para equilibrar demandas operacionais e o bem-estar dos profissionais, especialmente em contextos que exigem multifuncionalidade e alta performance sem contrapartidas adequadas.

Para mitigar o problema, é crucial que as entidades empregadoras adotem medidas preventivas e reabilitativas, como: (1) promoção de saúde mental (acompanhamento psicológico), (2) redução da carga horária, (3) incentivo à atividade física, (4) capacitação profissional contínua e (5) criação de redes de apoio entre colegas.

Apesar das contribuições deste estudo, reconhece-se a necessidade de aprofundar a investigação, dada a complexidade do tema. Limitações como a escassez de artigos primários nas plataformas consultadas e a heterogeneidade dos estudos analisados reforçam a importância de novas pesquisas para orientar estratégias mais eficazes.

REFERÊNCIAS

- Abreu, S. A., Moreira, E. A., Leite, S. F., Teixeira, C. C., Silva, M. E., Cangussu, L. M. B., ... & FREITAS, D. F. (2015). Determinação dos sinais e sintomas da síndrome de burnout através dos profissionais da saúde da santa casa de caridade de alfenas nossa senhora do perpétuo socorro. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 13(1), 201-238.
- Alrawashdeh, H. M., Al-Tammemi, A. A. B., Alzawahreh, M. K., Al-Tamimi, A., Elkholy, M., Al Sarireh, F., ... & Ghoul, I. (2021). Occupational burnout and job satisfaction among physicians in times of COVID-19 crisis: a convergent parallel mixed-method study. *BMC public health*, 21, 1-18.
- Ashpala, D. O., & Nghole, T. M. (2022). Factors contributing to burnout among nurses at a district hospital in Namibia: A qualitative perspective of nurses. *Journal of Nursing Management*, 30(7), 2982-2991.
- Borges, E. M. D. N., Queirós, C. M. L., Abreu, M. D. S. N. D., Mosteiro-Diaz, M. P., Baldonado-Mosteiro, M., Baptista, P. C. P., ... & Silva, S. M. (2021). Burnout entre enfermeiros: um estudo multicêntrico comparativo. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 29, e3432.
- Brenner, M. *et al* (2021). Honesty and Transparency, Indispensable to the Clinical. *Business of Otolaryngology, An Issue of Otolaryngologic Clinics of North America*, E-Book: *Business of Otolaryngology, An Issue of Otolaryngologic Clinics of North America*, E-Book, 55(1), 83.
- Brewer, K. C., Nguyen, J., Ziegler, H., Dodson, M., & Kurdian, S. (2023). Relationships of organizational behavior/mission congruence with burnout, secondary traumatic stress, and compassion satisfaction among nurses. *Applied nursing research*, 73, 151700.
- Brewer, K. C., Nguyen, J., Ziegler, H., Dodson, M., & Kurdian, S. (2023). Relationships of organizational behavior/mission congruence with burnout, secondary traumatic stress, and compassion satisfaction among nurses. *Applied nursing research*, 73, 151700.
- Dalri, R. D. C. D. M. B., Silva, L. A. D., Mendes, A. M. O. C., & Robazzi, M. L. D. C. C. (2014). Nurses' workload and its relation with physiological stress reactions. *Revista latino-americana de enfermagem*, 22(6), 959-965.
- Guillén, R. S. (2017). Síndrome de Burnout en profesionales de enfermería en el ámbito hospitalario: un estudio descriptivo. *Revista enfermería del trabajo*, 7(3), 65-69.
- International Council Nurses. 2015. "CIPE® Versão 2015 – Classificação Internacional para a Prática de Enfermagem." Lusodidacta - Sociedade Portuguesa de Material Didático, Lda.
- Jwaasa, T., & Mizuno, M. (2018). Relationship between exercise activity and job satisfaction of nurses. *Juntendo Medical Journal*, 64(Suppl. 1), 172-176.

Khamisa, N., Oldenburg, B., Peltzer, K., & Ilic, D. (2015). Work related stress, burnout, job satisfaction and general health of nurses. *International journal of environmental research and public health*, 12(1), 652-666.

Kim, S. E., & Han, J. Y. (2017). Clinical nurses' job stress, emotional labor, nursing performance, and burnout in comprehensive nursing care service wards and general wards. *Journal of Korean Academy of Nursing Administration*, 23(3), 336-345.

Leite, M. Z., de Souza, A. P., Borille, D. C., Braun, L. A., & de Oliveira, R. S. (2025). Burnout na Enfermagem: Fatores de Risco, Impactos e Estratégias de Enfrentamento. *Nursing Edição Brasileira*, 29(320), 10461-10468.

Lima, R. A. S., de Souza, A. I., Galindo, R. H., & Feliciano, K. V. D. (2013). Vulnerability to burnout among physicians at a public hospital in Recife. *Ciência & Saúde Coletiva*, 18(4), 1051.

Marcelo, T. S., Farah, B. F., Bustamante-Teixeira, M. T., & Ribeiro, L. C. (2022). Prevalência da síndrome de Burnout em enfermeiros de um hospital público. *Rev. enferm. UERJ*, e66860-e66860.

Peiro, J. M., & Gil-Monte, P. (1997). *Desgaste psíquico en el trabajo: el síndrome de quemarse*. Madrid: Síntesis.

Pieters, W. R., & Matheus, L. (2020). Improving general health and reducing burnout of nurses in Namibia. *SA Journal of Human Resource Management*, 18(1), 1-13.

Purvanova, R. K., & Muros, J. P. (2010). Gender differences in burnout: A meta-analysis. *Journal of vocational behavior*, 77(2), 168-185.

Rushton, C. H. (2016). Creating a culture of ethical practice in health care delivery systems. *Hastings Center Report*, 46, S28-S31.

Sauter, S. L., & Murphy, L. R. (1995). Organizational risk factors for job stress. *American Psychological Association*.

Silva, M. E. W., da Silva Bomfim, V. V. B., de Freitas Silva, E. H., da Silva, M. M. S., da Silva, L. C., do Nascimento, A. C., ... & de Medeiros Diniz, S. D. (2021). Fatores agravantes da Síndrome de Burnout nos profissionais de Enfermagem. *Research, Society and Development*, 10(9), e35610918062-e35610918062.

Sousa, L. M. C. (2011). *Síndrome de burnout em profissionais de saúde* (Master's thesis, Universidade do Porto (Portugal)). Retrieved December 18, 2024 (<https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/72989/2/29283.pdf>).

Spooner-Lane, R., & Patton, W. (2007). Determinants of burnout among public hospital nurses. *Australian Journal of Advanced Nursing*, The, 25(1), 8-16.

Suzuki, E., Itomine, I., Kanoya, Y., Katsuki, T., Horii, S., & Sato, C. (2006). Factors affecting rapid turnover of novice nurses in university hospitals. *Journal of occupational health*, 48(1), 49-61.

Vasconcelos, E. M. D., & Martino, M. M. F. D. (2018). Predictors of burnout syndrome in intensive care nurses. *Revista gaucha de enfermagem*, 38.

Vidotti, V., Ribeiro, R. P., Galdino, M. J. Q., & Martins, J. T. (2018). Burnout Syndrome and shift work among the nursing staff. *Revista latino-americana de enfermagem*, 26, e3022.

Zaghini, F., Biagioli, V., Proietti, M., Badolamenti, S., Fiorini, J., & Sili, A. (2020). The role of occupational stress in the association between emotional labor and burnout in nurses: A cross-sectional study. *Applied nursing research*, 54, 151277.

SOCIEDADE DO CONHECIMENTO E O USO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO: POSSIBILIDADES E DESAFIOS PARA O ACESSO AO CONHECIMENTO

Jackeline de Freitas Nunes

RESUMO

A sociedade do conhecimento tem como cerne do paradigma tecnológico as tecnologias da informação e comunicação. Nesta pesquisa trata-se da exigência do domínio das tecnologias da informação nos processos de seleção das empresas privadas da cidade de São Luís, como aspecto determinante para a exclusão/inclusão do educando/trabalhador e de como a escola está desenvolvendo suas ações no sentido de formar, capacitar o educando para desenvolver habilidades e competências de forma a atender essas exigências. Tem como objetivo analisar o processo de inserção das tecnologias da informação no âmbito escolar, bem como as ações desenvolvidas pela escola no sentido de promover uma formação capaz de possibilitar ao educando o entendimento e uso das tecnologias da informação. Conclui-se que seja necessário um redimensionamento do emprego das tecnologias da informação, onde a gestão deveria desenvolver ações efetivas, mais direcionadas para a real integração das tecnologias da informação na escola, bem como o planejamento pedagógico, que deve ser realizado de forma mais articulada com os fins a que se destinam as tecnologias na escola.

Palavras-chave: sociedade do conhecimento; tecnologia da informação; exclusão digital; acesso à informação.

INTRODUÇÃO

Este estudo enseja refletir sobre a ação e os desafios da escola no sentido de promover uma formação capaz de possibilitar ao educando o entendimento e uso das tecnologias da informação. Nesse sentido, torna-se importante deixar claro que, não se tem, em momento algum, o objetivo de tratar sobre os usos pedagógicos das tecnologias da informação na escola tomada para estudo, mas pretende-se analisar, tomando como ponto de partida as percepções já consolidadas no capítulo anterior desta pesquisa, a importância atribuída ao conhecimento, ainda que em nível básico das tecnologias da informação para ocupação de uma vaga de emprego. Dessa forma, o que se pretende abordar neste trabalho, é como a escola vem desenvolvendo suas ações nesse contexto de exigências por competências e habilidades em tecnologias da informação advindas do mundo do trabalho, e como vem se organizando frente às inovações tecnológicas.

As mudanças ocorridas na sociedade nas últimas décadas modificaram os padrões de produção, as relações produtivas, o mundo do trabalho e as relações sociais. O impacto que as tecnologias têm causado nos diversos aspectos da vida exigem um novo posicionamento, um conhecer diferenciado, capacidades distintas e otimizadas para que o indivíduo consiga sobreviver e se adequar nesse contexto de requisições, contradições e desigualdades.

As transformações decorrentes do avanço científico e tecnológico são percebidas em todos os aspectos da sociedade. O paradigma tecnológico que se estabeleceu na sociedade informacional transformou o modo de viver das pessoas que passam a se deparar com novas formas de produção, novas ferramentas, instrumentos e uma nova matéria prima do modo de produção informacional que é o conhecimento.

A capacidade de gerar, agregar valor, processar e usar o conhecimento como vantagem competitiva no mercado de trabalho faz surgir a necessidade de indivíduos aptos, com domínio nessas competências e habilidades, já que na sociedade informacional possuir conhecimento e a velocidade que esse conhecimento é empregado para gerar riquezas torna-se o diferencial na acirrada competitividade do mercado globalizado.

Essa demanda impõe ao mundo adequação e preparação para que assim possam sobreviver na sociedade em rede, onde as transações comerciais e os grandes negócios podem ser realizados virtualmente por meio de conexões feitas através das tecnologias da informação e comunicação.

É, nesse contexto, que o Brasil cria estratégias e mecanismos com o objetivo de gerar no país, condições favoráveis para a construção, ou melhor, para sua inserção na sociedade informacional. Esse cenário torna-se importante objeto de estudo, de onde partiu nossas inquietações motivadoras deste estudo, tendo como lócus da pesquisa uma escola de ensino médio da rede pública estadual, onde foram aplicadas entrevistas com professores, alunos, gestores e coordenadores pedagógicos dos três turnos, além da observação direta por um período de dois meses na escola.

AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO : inclusão ou exclusão digital

A sociedade do conhecimento foi moldada historicamente pela reestruturação produtiva do capitalismo no final do século XX, sendo resultante das condições objetivas e subjetivas determinantes em um dado momento e tempo da história. Portanto, constitui-se como parte integrante de uma totalidade concreta. Não representando ruptura com o padrão capitalista precedente, que continua a manter e desenvolver sua lógica centrada no lucro. Contudo, a estratégia da sociedade informacional esta fundada em que a informação e as tecnologias da informação assumem relevância no novo padrão de produção capitalista.

Obstante a essa dinâmica do real, em nosso país, a construção da sociedade da informação torna-se meta do governo que, para isso, lança mão de planos e estratégias, tendo como ação principal nesse propósito a implantação do Programa Sociedade da Informação através do Ministério da Ciência e Tecnologia(MCT), que foi criado em 15 de março de 1985 pelo Decreto n. 91.146, como órgão central do sistema federal de Ciência e Tecnologia que tem, entre suas competências, a formulação e implementação da Política Nacional de Ciência e Tecnologia, pautando suas ações nas disposições do Capítulo IV da Constituição Federal de 1988 (SANTOS, 2012).

Segundo Takahashi (2000), o Programa Sociedade da Informação foi a culminância de uma iniciativa que fora aprovada pelo Conselho Nacional de

Ciência e Tecnologia (CNCT), em dezembro de 1998, resultando em diversas ações propostas pelo MCT no Plano Plurianual para o período de 2000-2003.

Assim, o Ministério da Ciência e Tecnologia lançou o Programa Sociedade da Informação no Brasil, que iniciou suas ações em 1996, por meio do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CNCT), inserido no Programa Avança Brasil, tendo, por fim, elaborado o documento intitulado Livro Verde que contém as metas de implementação do Programa (BRASIL, LIVRO VERDE, 2000; SANTOS, 2012).

O Livro Verde é um compêndio das propostas de ações com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento da Sociedade da Informação no país, em todos os aspectos, a partir das seguintes linhas de ação: ampliação do acesso e dos meios de conectividade; formação de recursos humanos; incentivo à pesquisa e desenvolvimento; comércio eletrônico e desenvolvimento de novas aplicações.

Essas ações são reconhecidamente, como registra o próprio documento, um desafio para o governo e para a sociedade. Diante disso, o programa tem como objetivo central:

[...] lançar os alicerces de um projeto estratégico, de amplitude nacional, para integrar e coordenar o desenvolvimento e a utilização de serviços avançados de computação, comunicação e informação e de suas aplicações na sociedade
(BRASIL, LIVRO VERDE, 2000, p. v).

Considerando o contexto da sociedade no momento em que essas metas são traçadas e toda a abrangência e complexidade para a implantação e desenvolvimento do Programa é que são apresentados projetos que visam fundar as bases e impulsionar a construção da Sociedade da Informação em nosso país. As dificuldades e limitações apontadas para implantação do Programa Sociedade da Informação levam em conta que o Brasil, naquele momento, não dispunha de condições adequadas como infraestrutura computacional, redes de telecomunicações avançadas, para assim gerenciar e executar os projetos na sociedade.

O Programa inicia a partir de um projeto estratégico que, segundo o documento, começou a ser efetivado na década de 1990, após serem percebidos sucessos em aspectos antes considerados críticos para sua implantação,

dentre os quais se destaca os de maior representatividade: o impulso na Internet brasileira¹, com crescimento tanto no âmbito da comunidade científica quanto na plataforma de expansão do setor privado, estando aberta a serviços de natureza comercial desde 1995; e nas telecomunicações², com a privatização de todo o sistema brasileiro e a criação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (BRASIL. LIVRO VERDE, 2000).

Esses aspectos determinaram uma maior e mais rápida disponibilidade de acesso aos meios de comunicação, o que para implantação do programa que objetivava a construção da Sociedade da Informação, cuja base material se estabelece a partir de um paradigma tecnológico que tem como cerne as tecnologias da informação tornava-se um entrave se concretizar sem o avanço desses dois aspectos. Assim, o Ministério da Ciência e Tecnologia lança as bases para construção da Sociedade da Informação no Brasil.

As metas, objetivos, percurso de desenvolvimento, estratégias e projetos entre outros aspectos referentes à construção dessa sociedade em nosso país encontram-se nos documentos oficiais Livro Verde e Livro Branco criados para nortear, direcionar e basilar sua implantação e desenvolvimento. Esses

1 Internet brasileira: O setor de informática evoluiu, ao longo das décadas de 70 e 80, segundo um modelo de corte igualmente centralizado na concepção, mas comparativamente mais descentralizado de funcionamento do que na área de telecomunicações. O ápice do controle governamental no setor ocorreu com a criação da Secretaria Especial de Informática (SEI). Entre o final da década de 70 e o início da década de 80, a diretriz central da ação governamental no setor foi a da viabilização de uma indústria de minicomputadores (incluindo tanto hardware como software) no Brasil, a partir da absorção inicial de pacotes tecnológicos do exterior. Já em meados da década de 80, o foco de ações estratégicas no setor passou para microcomputadores, que principiavam a ganhar importância, juntamente com redes locais. Dezenas de empresas se lançaram no mercado para produzir microcomputadores e equipamentos periféricos (impressoras, unidades e controladoras de disco, terminais de vídeo, modems etc.) e atender à demanda crescente. A década de 90 principia com uma guinada na política de informática do País rumo a um modelo mais aberto, simbolizado pela redução significativa de alíquotas de importação para diversos itens. (BRASIL. LIVRO VERDE, 2000, p. 123).

2 Telecomunicações: O setor de telecomunicações evoluiu no Brasil, a partir de meados da década de 60, como braço de execução de uma política nacional que considerava as comunicações como estratégias para o desenvolvimento e a integração do País. Em termos concretos, o primeiro passo para um efetivo controle governamental do setor foi dado com a criação da Embratel, inicialmente dedicada à telefonia de longa distância e principalmente transmissão de sinal de TV, cunhando o slogan “via Embratel”, que ainda hoje se ouve. A década de 70 assistiu à notável expansão dos serviços de telecomunicações, a par de qualidade crescente na instalação e operação dos mesmos. A implantação de infra-estrutura física, em particular, mereceu atenção e cuidados que viriam a destacar a Telebrás dentre empresas similares em outros países em desenvolvimento. Por outro lado, ainda entre o final da década de 60 e o início da década de 70, houve notável avanço em comunicação televisiva, epitomizada. Um marco importante na busca de aprofundamento de um modelo nacional e independente para o setor foi a criação do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD) da Telebrás, no final da década de 70, visando a reunir (e verticalizar) em um só lugar projetos de pesquisa e desenvolvimento de equipamentos e serviços para a infra-estrutura de telecomunicações do País (BRASIL. LIVRO VERDE, 2000, p. 121).

documentos refletem não somente as necessidades da sociedade brasileira de acompanhar as transformações tecnológicas, econômicas, políticas, culturais e sociais pelas quais o mundo globalizado já estava em desenvolvimento nos países de capital central, mas também nossas misérias nesses mesmos aspectos em contradição com a imensa riqueza natural e cultural do país.

Destarte, o Livro Verde que teve sua produção iniciada em 1996 foi entregue à sociedade em setembro de 2000; e o Livro Branco que “expressa os resultados da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação”, realizada em setembro de 2001, traz: “[...] as linhas de uma política de longo prazo, no contexto das rápidas e profundas transformações porque passam o Brasil e o mundo e das demandas e desafios que a sociedade brasileira terá que enfrentar nesta década”. (BRASIL. LIVRO BRANCO, 2002).

Reconhecidamente considerado como expressão dos resultados da Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, como registrado no próprio documento, o Livro Branco tem como objetivo:

[...] apontar caminhos para que Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) possam contribuir para a construção de um país mais dinâmico, competitivo e socialmente mais justo. Para tanto, é necessário formar e consolidar, em um ambiente estimulante e indutor da inovação, um Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação cuja base científica e tecnológica seja internacionalmente competitiva, ampla, diversificada e nacionalmente distribuída. Deve abranger as aplicações sociais e a participação dos setores público e privado. Trata-se, assim, de contribuir para o avanço da institucionalização da Ciência e da Tecnologia no País que tem na fundação do CNPq, há mais de 50 anos, um marco decisivo (BRASIL. LIVRO BRANCO, 2002, p. 21).

Nessa finalidade, percebe-se refletidos os esforços conjugados da comunidade científica e tecnológica brasileira, que buscam meios plausíveis de propiciar um maior incentivo à pesquisa por meio do qual possam ser estabelecidas as bases da Sociedade da Informação que objetivam construir, assim como de sua sustentação.

Vale ressaltar que, a necessidade de formar e consolidar um ambiente estimulante e indutor da inovação é bem aportado, quando se remete aos prenúncios da revolução da tecnologia da informação tratada no primeiro

capítulo deste trabalho. O contexto que propiciou a revolução da tecnologia da informação estava impregnado de ciência e técnica, pois no Vale do Silício nos Estados Unidos, local de criação, transformação e evolução das tecnologias o investimento em ciência e tecnologia não partia somente do Estado, mas, também do setor privado. A pesquisa, a ciência, a tecnologia, a inovação obtiveram respaldo e a devida importância no desenvolvimento desse país.

Na efetivação da Sociedade da Informação a educação se torna aspecto fundamental, uma vez que nessa sociedade a gestão eficiente da informação e aplicação do conhecimento é exigência para a produtividade e competitividade, para a inserção e evolução do indivíduo. Isto requer formação contínua, capacidade de aprender a aprender constantemente. O que remete a novos desafios no âmbito educacional, principiados pela concretização do sentido de educar, que toma novo significado nesse processo:

A educação é o elemento-chave na construção de uma sociedade baseada na informação, no conhecimento e no aprendizado. [...] educar em uma sociedade da informação significa muito mais que treinar as pessoas para o uso das tecnologias de informação e comunicação: trata-se de investir na criação de competências suficientemente amplas que lhes permitam ter uma atuação efetiva na produção de bens e serviços, tomar decisões fundamentadas no conhecimento, operar com fluência os novos meios e ferramentas em seu trabalho, bem como aplicar criativamente as novas mídias, seja em usos simples e rotineiros, seja em aplicações mais sofisticadas. Trata-se também de formar os indivíduos para "aprender a aprender", de modo a serem capazes de lidar positivamente com a contínua e acelerada transformação da base tecnológica (BRASIL. LIVRO VERDE, 2000, p. 45).

Nesses moldes, a educação é incumbida à tarefa de preparar o indivíduo para se inserir, adequar-se e evoluir nessa sociedade. Isso remete a uma formação capaz de propiciar o desenvolvimento de habilidades e competências para "transformar informação em conhecimento" (BRASIL. LIVRO VERDE, 2000), saber aplicar o conhecimento, informação que agrega valor, que se torna vantagem competitiva no mercado globalizado.

A exigência pelo desenvolvimento de habilidades e competências para inserção na sociedade da informação impõe ao indivíduo a responsabilidade de se fazer capacitado, de estar preparado para alcançar e manter um lugar nessa

realidade. Contudo, as condições adequadas para essa formação devem ser oportunizadas em todos os aspectos (social, político, educacional, tecnológico). Não devendo ser requeridas apenas do indivíduo, como se este pudesse dar conta de todas as variáveis que envolvem um processo global de formação, como este que lhe é conferido, que vai desde o uso competente das tecnologias da informação, aplicar criativamente as novas mídias, seja em usos simples e rotineiros, seja em aplicações mais sofisticadas a tomar decisões fundamentadas no conhecimento.

Essas demandas implicam em investimentos efetivos, tanto no aspecto financeiro como em criação de políticas públicas, que viabilizem a suficiente estrutura educacional para o desenvolvimento de uma formação capaz de suplantar as velhas deficiências e preparar para a autonomia política, social e tecnológica.

Um dos aspectos preponderante na sociedade da informação é o imperativo pelo uso das tecnologias da informação, como se pôde observar nos dispositivos elencados anteriormente. A formação adequada para esse uso e manuseio não pode prescindir de investimentos em inovações tecnológicas no âmbito educacional.

Haja vista, ser pontuado com relevante ênfase esse aspecto no que se refere a educar na sociedade da informação, questionou-se os professores, os alunos e os gestores da escola tomada para estudo sobre a maneira como a inovação tecnológica vem acontecendo na escola.

Buscou-se entender essa realidade sobre as diferentes perspectivas, ou seja, a visão do aluno que recebe o conhecimento através das tecnologias, do professor que emprega as tecnologias na mediação do conhecimento e da direção da escola que administra os recursos tecnológicos dispondo a comunidade escolar.

Assim, questionando os sujeitos da escola foi possível extrair os seguintes depoimentos em relação às percepções sobre as inovações tecnológicas *in loco*:

Assim... a gente tem a sala de informática, *wifi*, todo mundo tem *andróide*, os professores tem *tablet*. A escola em relação as outras está bem, mas pode melhorar. Melhorar a acessibilidade. Os professores mandam pesquisar no laboratório, não tem computador para todos na sala de informática. Costumamos ir até a sala de vídeo e assistimos vídeos educativos (Aluna 3º ano Vespertino). Através dos *tablets* que chegou para os professores, as aulas que são dadas com o uso de *data show*. Mas, em minha opinião não teve uma evolução (Aluno 3º ano Noturno).

O mundo que se vive hoje é globalizado e chega através da tecnologia as informações. Para se arrumar um emprego se precisa das tecnologias. Eu acredito que o avanço tem mais é na área da informática, porque os ar-condicionados tão quebrados. Faltam mais recursos. Eu acho que a escola investe, mas precisa melhorar (Aluno 3º ano Matutino).

Gradativamente vem acontecendo com a ampliação de recursos indispensáveis à rotina escolar, como os materiais que proporcionam uma vasta ampliação de conhecimento como: *Data show*, a lousa digital, a sala de informática, bem como os profissionais que fazem o intermédio dessas mídias (Professora A, turno vespertino).

A escola sempre voltou, e um esforço maior do nosso diretor geral que ele faz com que a escola tenha esse alto grau de tecnologia dentro de nossa escola, temos sala de informática com computadores, *data show*. Pra tu ter uma ideia são 20, temos uma sala de multimídia completamente voltada para essas atividades e, além de tudo, nós tivemos o privilégio de cada professor nosso ter um *tablet*, aonde eles ganharam do governo para que eles pudessem desenvolver suas aulas e, além disso, também agente foi premiado pelo MEC, aonde agente tem uma internet de 100G, na escola toda, onde todo mundo, não só professores e alunos, mas técnicos e funcionários têm acesso. É muito interessante. nós temos uma internet fantástica? (Gestor).

As falas dos sujeitos revelam que a tecnologia está disponível na escola. É o que se pôde constatar nas escolas pesquisadas, em várias visitas realizadas, nos três turnos durante o período da pesquisa. Dentre os recursos encontrados, podemos citar sala de multimídia, lousa interativa, laboratório de informática, *wifi* com sinal chegando em todas as salas, aparelhos de *data show*, aparelhos de som. Tais inovações tecnológicas chegaram até essa unidade de ensino através de programas do governo federal, como o “Ensino Inovador”, Olimpíada de Matemática e o Proinfo³. Contudo, embora essas tecnologias estejam na escola, e os alunos tenham uma interação e façam uso, percebe-se que os próprios

360 Programa Nacional de Tecnologia Educacional (ProInfo) é um programa educacional criado pela Portaria nº 522/MEC, de 9 de abril de 1997 e regulamentado pelo Decreto 6.300, de 12 de dezembro de 2007, para promover o uso pedagógico de Tecnologias de Informática e Comunicações (TICs) na rede pública de ensino fundamental e médio. O MEC/FNDE compra, distribui e instala laboratórios de informática nas escolas públicas de educação básica. Em contrapartida, os governos locais (prefeituras e governos estaduais) devem providenciar a infraestrutura das escolas, indispensável para que elas recebam os computadores, criativa, inovadora e transformadora não equivale a uma educação emancipadora, mas somente reprodutora.

alunos sentem a necessidade de que essas tecnologias sejam aplicadas de maneira mais proveitosa e com qualidade.

O laboratório de informática funciona. Alguns professores (a minoria) levam os alunos para realizar pesquisas de forma a dinamizar as aulas, mostrando vídeos e imagens interativas através dos computadores, com o uso da internet. Porém, o laboratório não possui espaço para todos os alunos, já que cada turma do diurno possui em torno de 40-45 alunos matriculados e frequentes e no noturno 20-30 alunos, e o laboratório só comporta 09 alunos sentados. Nesse aspecto, percebe-se a falta de infraestrutura adequada para funcionamento do laboratório instalado em uma pequena sala. Nessa escola, observou-se a necessidade de ser disponibilizado um espaço mais amplo para melhor aproveitamento dos alunos.

Na visão dos alunos as inovações tecnológicas utilizadas na escola são importantes, porém há o entendimento de que precisam ser mais bem empregadas, de modo que os alunos ampliem seus conhecimentos para reconhecer essas tecnologias, usá-las e aplicá-las no seu dia a dia (tanto para questões pessoais quanto profissionais) com consciência e competência. De outra forma, torna-se nulo, sem sentido dispor de inovações tecnológicas no âmbito escolar se não oportunizar o entendimento real de seu uso, para a produção de bens materiais, para a interação social e ampliação de conhecimentos gerais. Apenas dispor dos recursos tecnológicos sem a adequada formação que possibilite sua aplicação de maneira criativa, inovadora e transformadora não equivale a uma educação emancipadora, mas somente reprodutora.

Os próprios documentos normativos que rezam sobre a construção da sociedade da informação trazem como prerrogativa uma educação que não apenas treine para o uso das tecnologias da informação. Não basta dispor das tecnologias no ambiente escolar e inseri-las como recurso pedagógico nas aulas. É necessário contextualizar suas aplicações à realidade social e à produção do indivíduo. Mostrar sua importância e determinância na inclusão ou exclusão na atual sociedade, pois isso constitui segundo Grinspun (2009, p. 35):

A educação buscando a promoção do homem para caminhar nas redes e teias de novos conhecimentos/valores; a tecnologia impulsionando o homem para saber e agir face às novas mudanças e, a educação tecnológica fundamentando e promovendo uma

educação capaz de ajudar o homem a criar, inventar, formar-se para um tempo em que conviver com a tecnologia não é coisa dos deuses, nem dos sonhos, mas sim da realidade dos homens e dos fatos que compõem a nossa história.

Essa educação, além do uso e manejo das tecnologias da informação, propicia o desenvolvimento de habilidades e competências suficientes para que o aluno seja agente de transformação de sua realidade social, produtiva e também dos outros. Isto requer domínio de conhecimentos que extrapolam a esfera da repetição e da reprodução, requer autonomia, cidadania e politização.

A existência das inovações tecnológicas na escola pesquisada reflete as ações resultantes de políticas e plano do governo no intuito de informatizar todas as escolas públicas brasileiras. É o caso das ações desenvolvidas a partir do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) que previa a informatização de todas as escolas públicas, com instalação de laboratórios de informática até 2010; além do estímulo à produção de conteúdos didáticos digitais e o desenvolvimento de ações integradas com programas intersetoriais e interministeriais para a universalização do acesso à informação e inserção do Brasil na sociedade tecnológica (BRASIL, PDE, 2007).

A informatização das escolas, tendo em vista possibilitar o acesso e contato as inovações tecnológicas aos alunos da rede pública de ensino, é sem dúvida uma importante empreitada, já que a grande maioria desses estudantes somente terá a oportunidade de usar a tecnologia da informação no espaço escolar. Tais recursos ainda são, na realidade socioeconômica brasileira e maranhense, apenas acessíveis a uma minoria privilegiada da população.

É nesse sentido, que instalar laboratórios de informática nas escolas, dispor de rede de internet com banda larga e recursos digitais interativos deve ser empregado não somente para gerar número e contribuir para aumento nos Índice de desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), mas, principalmente, para que o ambiente escolar seja favorecido por condições ideais para uma formação de qualidade, como defende Marx, um ensino que não seja apenas polivalente, mas que permita a compreensão dos fundamentos técnico-científicos dos processos de produção, bem como do uso das suas ferramentas e instrumentos, de maneira a contribuir para o pleno desenvolvimento do educando.

Entende-se que a principal preocupação, o foco das intermediações deve ser, em todas as situações, o sujeito que se pretende formar. Desse modo, através da educação formal oferecida pelo sistema de ensino público, o educando/trabalhador, aprendiz e cidadão, poderá alcançar a qualificação necessária que lhe garanta atuar no competitivo e complexo mundo do trabalho.

Os alunos estão inteirados sobre as transformações tecnológicas no mundo do trabalho, isto porque as mudanças impactam também a vida social desses educandos, pois é característica da tecnologia da informação sua penetrabilidade em todos os âmbitos da atividade humana (CASTELLS, 1999).

Ao mesmo tempo, desperta nossa atenção o fato que, embora os alunos tenham a percepção de que saber utilizar, manusear as TI ao menos em nível básico, é uma exigência do mercado de trabalho; esse entendimento e importância não foi trabalhado no ambiente escolar. Os professores não buscaram formas de contextualizar o conteúdo trabalhado em sala de aula com os princípios das tecnologias da informação. Também não relacionaram as TI com sua aplicação no mundo produtivo. Esses dados e a constatação de que a maioria dos professores sente a necessidade de atualização e capacitação para interagir com as tecnologias da informação, foram revelados em seus depoimentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, observou-se que tanto os professores como os alunos consideram importante desenvolver habilidades e competências nas TI. Ambos reconhecem que é uma exigência do mundo do trabalho. Os alunos sabem que é necessário o conhecimento em tecnologias da informação no mínimo em nível básico, porém os professores não trabalham de forma contextualizada e transdisciplinar os princípios e aplicação das TI o que torna o desenvolvimento dessas habilidades e competências comprometido para esses educandos/trabalhadores em uma etapa da educação que tem como objetivo formar para a cidadania e para o mundo do trabalho.

Que cidadania pode se tornar real sem que haja oportunidades iguais e concretas de inserção no mundo do trabalho e na realidade social?

Ao professor falta a devida valorização, o respeito pelo seu trabalho. As formações continuadas que são oferecidas não possibilitam a adequada

capacitação, pois são realizadas de forma aligeiradas, sem relação teoria e prática, sem oportunidade dos professores desenvolverem habilidades para utilizarem as tecnologias da informação em sala de aula com segurança, como aliadas do processo ensino aprendizagem, como evidenciado no depoimento dos próprios professores, que acabam por buscar capacitação de maneira particular.

Em meio a essa problemática, encontra-se a gestão escolar que, por sua vez, está envolvida com as atividades administrativas, técnicas, operacionais e políticas da escola e parece não se dar conta das contradições presentes em seu lócus de gerenciamento.

Embora a escola disponha de recursos tecnológicos e esteja inserida em programas de inclusão digital, apenas a existência dessas tecnologias no espaço escolar não é suficiente para promover o desenvolvimento de habilidades e competências em uso e entendimento das TI, pois sem que sejam trabalhados seus princípios, sua aplicação no mundo do trabalho, de maneira contextualizada e crítica, essas tecnologias se tornarão meras ferramentas utilizadas para projetar conteúdos, ou dinamizar as aulas, sem qualquer relação com a realidade social e produtiva desses alunos.

Dessa forma, entende-se que seja necessário um redimensionamento do emprego das tecnologias da informação na escola, iniciando pelo planejamento pedagógico, que deve ser realizado de forma mais articulada com os fins a que se destinam as tecnologias na escola⁴: de promover a inserção digital dos alunos, tendo em vista a configuração de um padrão sócio-técnico-econômico na atual sociedade.

No momento do planejamento pedagógico, as coordenadoras pedagógicas, devem orientar os professores de forma a articularem os conteúdos a serem trabalhados em sala de aula com o uso das tecnologias, levando os alunos ao laboratório e à sala de multimídia com maior frequência para mostrar aos alunos que as tecnologias fazem parte também do mundo do trabalho e constituem uma exigência para o desenvolvimento de muitas atividades e profissões.

4 De acordo com o Projeto Político Pedagógico da escola tomada para estudo.

Nesse sentido, observa-se que a gestão deveria desenvolver ações efetivas, mais direcionadas para a real integração das tecnologias da informação na escola, pois como declarado por um dos gestores adjunto, a gestão percebe resistência por parte dos professores em utilizar as tecnologias da informação “Porque tem professores que ainda tem resistência quanto ao uso das TI tem professor que ganhou o *tablet* mais não usa, mas têm outros que já usavam no dia a dia e por isso usam nas aulas.”

Apesar de a gestão já ter identificado as falhas no processo de integração das TI na escola, não desenvolvem ações que tragam soluções. Não criam projetos voltados para a capacitação dos professores, no próprio ambiente da escola, de forma motivá-los. Por outro lado, há professores que não colaboram com a busca por sanar suas dificuldades e inseguranças quanto ao uso, a função e aplicabilidade das tecnologias. Se são resistentes a adotar mudanças em suas práticas pedagógicas, como poderão desenvolver novas habilidades em seus alunos?

A Secretaria de Educação do Estado através do Núcleo de Tecnologia oferece cursos de capacitação, como por exemplo, após a entrega do *tablet* houve uma palestra realizada para ensinar os professores como utilizar os aplicativos disponíveis. Em seus relatos, eles disseram que não se sentem motivados para esse tipo de formação que geralmente são oferecidas de forma aligeiradas sem aporte teórico e com pouca oportunidade de tempo para praticar. Daí, os gestores terem a sensibilidade de buscar meios para oferecer capacitações geridas pela própria direção da escola, a partir das necessidades específicas dos seus professores e alunos.

A escola tomada para estudo é uma referência no ensino médio público, conta com significativo índice de alunos que adentram ao ensino superior, por isso torna-se importante que novas ações venham ser direcionadas para melhoria do processo de integração das tecnologias da informação na escola. Isto dependerá do esforço de toda a comunidade escolar: dos professores que ainda relutam em usar as tecnologias em sala de aula, no sentido de serem motivados a uma nova visão, entendimento e utilização das TI em sua vida social e profissional; das coordenadoras pedagógicas, no que diz respeito a reorientar os professores na adequação do planejamento de suas aulas com o uso das TI incentivando-os a trabalhar de forma contextualizada com a realidade

social e produtiva dos alunos e de maneira multidisciplinar; dos gestores, no que se refere ao desenvolvimento de ações efetivas, gerenciais e pedagógicas, para que assim os alunos possam realmente desenvolver habilidades e competências em uso e entendimento das tecnologias da informação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Sociedade da informação no Brasil: **Livro Verde**. Organizado por Tadao Takahashi. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Livro Branco**: Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Destaque- Sobre o MCT. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/viewww/105.html>>. Acesso em: 10 de set. 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. Inep. Plano de Desenvolvimento da Educação- PDE.2007. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>. Acesso em: 02 de fev. de 2014.

BRASIL, MEC. SEED. Programa Nacional de Informática na Educação – Proinfo. Brasília: MEC, 2013. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>. Acesso em: 02 de fev. de 2014.

CASTELLS, Manuel. **A Sociedade em rede**. 6. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1999. 698p. V. 1.

GRINSPUN, Míria P. S. Zippin. **Educação tecnológica**: desafios e perspectivas. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2009. 293p.

SANTOS, Maria José dos. **Com Licença! As novas tecnologias batem à porta do espaço escolar**: relações entre as NTIC e o trabalho docente. São Luís: Edufuma, 2012.

TAKAHASHI, Tadao (org.) **Sociedade da informação no Brasil**: livro verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.

TENDÊNCIA TEMPORAL DO EXCESSO DE PESO E OBESIDADE EM ADULTOS DE RIO BRANCO, ACRE, E PORTO VELHO, RONDÔNIA

Daiane Alves do Nascimento
Universidade Federal do Acre (UFAC)

Orivaldo Florencio de Souza
Universidade Federal do Acre (UFAC)

RESUMO

Objetivo: Analisar a tendência temporal do excesso de peso e obesidade em adultos das cidades de Rio Branco, Acre e Porto Velho, Rondônia no período 2013 e 2019. **Método:** Trata-se de estudo de série temporal período de 2013 até 2019, utilizando dados secundários do Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel). Neste estudo foram analisadas informações de adultos das capitais de estado Rio Branco, Acre e Porto Velho, Rondônia. **Resultados:** O sexo masculino mostrou maior prevalência de excesso de peso e obesidade em todos os anos analisados em contraste ao sexo feminino em Rio Branco e Porto Velho. Houve aumento percentual nas prevalências de excesso de peso e obesidade no período de 2013 a 2019. Os adultos de Rio Branco mostraram menores prevalências de excesso de peso nos anos de 2013 e 2016 e valor semelhante em 2019. Na obesidade, os adultos de Rio Branco tiveram maiores prevalências nos anos de 2013, 2016 e 2019. **Conclusão:** Em Rio Branco e Porto Velho identificou-se aumento da prevalência de excesso de peso e obesidade. Além disso, verificou-se que a prevalência do excesso de peso e obesidade é maior no sexo masculino em ambas as cidades.

Palavras-chave: excesso de peso; obesidade; prevalência; série temporal.

INTRODUÇÃO

A prevalência de excesso de peso e obesidade tem aumentado de maneira epidêmica em todas as faixas etárias nas últimas quatro décadas. Atualmente, o excesso de peso e a obesidade representam um grande problema de saúde pública no mundo (GADDE *et al.*, 2018). Um estudo indicou que a prevalência da obesidade deve atingir o pico entre 2026 e 2054, com os EUA e o Reino Unido atingindo os níveis máximos mais altos (JANSSEN; BARDOUTSOS; VIDRA, 2020).

A obesidade é uma doença crônica, com o acúmulo anormal ou excessivo de gordura no corpo, em quantidade que determine prejuízos à saúde. O ponto de corte para o diagnóstico da obesidade é o índice de massa corporal (IMC) maior ou igual a 30 kg/m². Para o excesso de peso, o ponto de corte é 25 kg/m² ou maior (CABALLERO, 2019).

O excesso de peso e a obesidade têm origens multifatoriais que englobam diferentes dimensões: biológica, social e ambiental. Nesse sentido, o acúmulo de gordura no organismo aumenta o risco de doenças cardiovasculares, como hipertensão arterial, aumento do colesterol e triglicérides, infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral (GADDE *et al.*, 2018). Também as doenças mentais, tais como depressão ou crises de ansiedade, estão associadas à obesidade e excesso de peso, conforme revelado por Luppino *et al.* (2010) em estudo de revisão sistemática e meta-análise. Além disso, a obesidade está relacionada ao aumento do risco para várias outras doenças, tais como as doenças do fígado, diversos tipos de câncer, problemas renais, asma e dores nas articulações (CABALLERO, 2019). Por consequência, reduz a qualidade e a expectativa de vida.

Atualmente existe a necessidade de informações sobre a tendência temporal do excesso de peso e obesidade para as capitais de estados do Acre e Rondônia. Essas informações possibilitarão propor indicadores relevantes para o planejamento de ações voltadas ao controle do peso corporal, a mudança de hábitos alimentares e a prática de atividades físicas regulares como meio de prevenção ao desenvolvimento do excesso de peso e obesidade. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a tendência temporal do excesso de peso e obesidade em adultos das cidades de Rio Branco, Acre e Porto Velho, Rondônia no período 2013 e 2019.

MÉTODOS

Delineamento do Estudo e Fonte dos dados

Trata-se de estudo de série temporal período de 2013 até 2019, utilizando dados secundários do Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel). Neste estudo foram analisadas informações de adultos das capitais de estado Rio Branco, Acre e Porto Velho, Rondônia.

Anualmente, o Vigitel realiza mais de 50 mil entrevistas em todas as capitais de estados brasileiros por meio de ligações telefônicas em linhas fixas, com adultos (≥ 18 anos). Nas entrevistas são coletadas informações autorreferidas sobre características sociodemográficas, comportamentais, peso e altura, entre outras. Os dados do Vigitel são de acesso e uso público, disponíveis no sítio eletrônico do Ministério da Saúde. Neste estudo, as fontes dos dados foram os relatórios do Vigitel de 2013, 2016 e 2019, onde estão apresentados os procedimentos de amostral (BRASIL, 2014; BRASIL, 2017; BRASIL, 2020).

Aspectos Éticos

O estudo Vigitel foi autorizado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Ministério da Saúde: Parecer nº 2.006.31, emitido em 6 de junho de 2017; Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 65610017.1.0000.0008. O consentimento livre e esclarecido foi colhido oralmente, durante a entrevista telefônica (Brasil, 2020).

Processo amostral

O processo amostral do Vigitel é realizado em dois passos, sendo:

- Sorteio sistematizado de 5 mil linhas de telefones fixos por cidade, com base nos registros telefônicos fornecidos pelas principais empresas de telefonia do país;
- Seleção aleatória de um indivíduo no domicílio, a quem é solicitado responder à entrevista.

Os critérios elegibilidade para inclusão foram ter idade igual ou acima de 18 anos e haver pelo menos uma linha telefônica fixa no domicílio. Os critérios de exclusão foram as linhas telefônicas localizadas em empresas e as linhas telefônicas que não responderam a seis tentativas de chamadas em qualquer horário e dia da semana (BRASIL, 2014; BRASIL, 2017; BRASIL, 2020).

Variáveis de estudo

As variáveis analisadas neste estudo foram sexo, peso e estatura. Especificamente, as variáveis do peso e estatura foram autorreferidas e coletadas conforme as seguintes perguntas:

“O(a) Sr.(a) sabe seu peso (mesmo que seja valor aproximado)?”; “O(a) Sr.(a) sabe sua altura?”.

Os dados sobre o peso e a altura dos entrevistados foram utilizados para o cálculo do índice de massa corporal (IMC) e classificados em:

- Eutrófico (IMC $<25\text{kg/m}^2$);
- Excesso de peso (IMC $\geq 25\text{kg/m}^2$);
- Obesidade (IMC $\geq 30\text{kg/m}^2$);

Os dados faltantes de peso e altura foram imputados utilizando-se o procedimento Hot Deck. Detalhes específicos do procedimento Hot Desk estão descritos no relatório anual do Vigitel (BRASIL, 2014; BRASIL, 2017; BRASIL, 2020).

Análise dos dados

As análises dos dados foram realizadas no programa estatístico Stata. As prevalências de excesso de peso e obesidade para as cidades de Rio Branco e Porto Velho no período de 2013 a 2019 foram apresentadas para o grupo geral e por sexo.

A variação percentual entre os anos de 2016 e 2013, de 2019 e 2016 e de 2019 e 2013 das prevalências de excesso de peso e obesidade por sexo para as cidades de Rio Branco e Porto Velho foram calculadas pela seguinte fórmula:

$$((\text{Ano Final}-\text{Ano Inicial}) / \text{Ano Inicial}) * 100.$$

A diferença percentual das prevalências de excesso de peso e obesidade por sexo entre as cidades de Rio Branco e Porto Velho foram calculadas da seguinte maneira:

- Em 2019: Porto Velho(a) e Rio Branco(b): $((b-a)/a)*100$;
- Em 2016: Porto Velho(a) e Rio Branco(b): $((b-a)/a)*100$;
- Em 2013: Porto Velho(a) e Rio Branco(b): $((b-a)/a)*100$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos anos de 2013, 2016 e 2019 foram entrevistados um total 5589 pessoas e 5777 pessoas em Rio Branco e Porto Velho, respectivamente. Por ano, em Rio Branco número entrevistados foi 1971 pessoas em 2013, 1806 pessoas em 2016 e 1812 pessoas em 2019. Em Porto Velho o número de entrevistados foi de 1954 pessoas em 2013, 1897 pessoas em 2016 e 1926 pessoas em 2019.

Na Tabela 1 está apresentada a Prevalência e tendência temporal do excesso de peso em adultos de Rio Branco e Porto Velho, 2013, 2016 e 2019. O sexo masculino mostrou maior prevalência de excesso de peso em todos os anos analisados em contraste ao sexo feminino nas cidades de Rio Branco e Porto Velho. No período de 2013 a 2019 houve aumento percentual do excesso de peso de 7,6% em adultos de Rio Branco e 7,0% em adultos de Porto Velho. Em Rio Branco o maior aumento ocorreu no sexo feminino (14,2%). Por outro lado, o maior aumento em Porto velho ocorreu no sexo masculino (9,1%). No período de 2013 a 2016, adveio aumento na prevalência do excesso de peso em ambos os sexos, com valores maiores em Porto Velho. No período de 2016 a 2019 houve declínio na prevalência do excesso de peso em ambos os sexos da cidade de Porto Velho. Em Rio Branco, ocorreu aumento na prevalência do excesso de peso no sexo feminino (9,9%) e declínio no sexo masculino (-4,1%).

Tabela 1 – Prevalência e tendência temporal do excesso de peso em adultos de Rio Branco e Porto Velho, 2013, 2016 e 2019.

	2013	2016	2019	Variação Percentual		
				(2016-2013)	(2019-2016)	(2019-2013)
Rio Branco						
Todos	52,6	55,6	56,6	5,7	1,8	7,6
Masculino	57,1	60,5	58,0	6,0	-4,1	1,6
Feminino	48,5	50,4	55,4	3,9	9,9	14,2
Porto Velho						
Todos	52,9	60,6	56,6	14,6	-6,6	7,0
Masculino	57,0	65,8	62,2	15,4	-5,5	9,1
Feminino	48,5	55,8	50,6	15,1	-9,3	4,3

Na Tabela 2 está apresentada a prevalência e tendência temporal da obesidade em adultos de Rio Branco e Porto Velho. No período de 2016 a 2019 o sexo masculino mostrou maior prevalência de obesidade em ambas cidades analisadas. Porém, em 2013 somente em Rio Branco o sexo feminino mostrou maior prevalência de obesidade maior do que o sexo masculino. No período de 2013 a 2019 houve aumento percentual da obesidade de 28,7% em adultos de Rio Branco e 11,8% em adultos de Porto Velho. O sexo masculino mostrou maior aumento percentual tanto em Rio Branco (39,5%) e como em Porto Velho (12,5%).

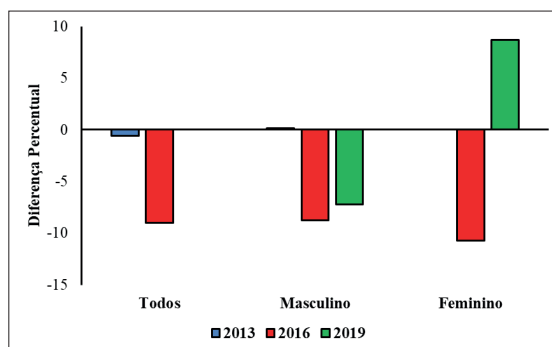
No período de 2013 a 2016, aconteceu aumento na prevalência da obesidade em ambos os sexos, com valores maiores no sexo masculino (48,5%) em Rio Branco e feminino (26,4%) em Porto Velho. No período de 2016 a 2019 houve declínio na prevalência de obesidade em contraposição em ambas cidades analisadas. Na cidade de Rio Branco o sexo masculino teve declínio de -6,0% na prevalência de obesidade, enquanto o sexo feminino teve aumento de 2,6%. Em Porto Velho, o sexo masculino não revelou alteração na prevalência de obesidade e o sexo feminino mostrou redução de -12,6%.

Tabela 2 - Prevalência e tendência temporal da obesidade em adultos de Rio Branco e Porto Velho, 2013, 2016 e 2019.

	2013	2016	2019	Variação Percentual		
				(2016-2013)	(2019-2016)	(2019-2013)
Rio Branco						
Todos	18,1	23,8	23,3	31,5	-2,1	28,7
Masculino	16,7	24,8	23,3	48,5	-6,0	39,5
Feminino	19,3	22,8	23,4	18,1	2,6	21,2
Porto Velho						
Todos	17,8	21,3	19,9	19,7	-6,6	11,8
Masculino	19,2	21,6	21,6	12,5	0,0	12,5
Feminino	16,3	20,6	18,0	26,4	-12,6	10,4

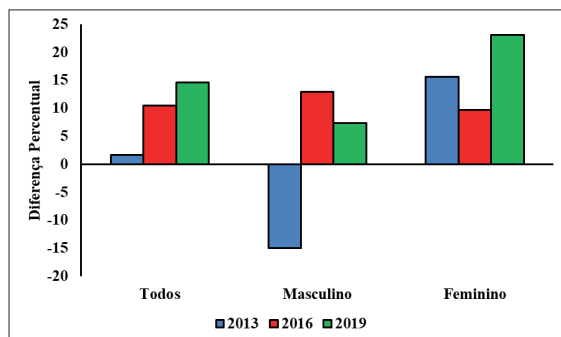
Na Figura 1 mostra a diferença percentual na prevalência do excesso de peso em adultos entre as cidades de Rio Branco e Porto Velho nos anos de 2013, 2016 e 2019. Os adultos de Rio Branco tiveram menor prevalência de excesso de peso em 2016 em contraste aos adultos de Porto Velho. Em 2019 não houve diferença percentual e em 2013 a diferença percentual foi muito baixa na prevalência de excesso de peso entre as cidades analisadas. No sexo masculino, os adultos de Rio Branco tiveram menor prevalência de excesso de peso nos anos de 2016 e 2019. As mulheres de Rio Branco tiveram menor prevalência de excesso de peso em 2016 e maior em 2019, mas em 2013 não houve diferença percentual.

Gráfico 1 - Diferença percentual na prevalência de excesso de peso em adultos entre as cidades de Rio Branco e Porto Velho nos anos de 2013, 2016 e 2019.



Na Figura 2 mostra a diferença percentual da prevalência de obesidade em adultos entre as cidades de Rio Branco e Porto Velho nos anos de 2013, 2016 e 2019. A diferença percentual da obesidade entre Rio Branco e Porto Velho aumentou de 2013 até 2019. Somente no ano de 2013 Rio Branco apresentou menor prevalência de obesidade no sexo masculino em contraste a Porto Velho. No sexo feminino, em todos os anos analisados houve maior prevalência de obesidade em Rio Branco. A maior diferença percentual entre Rio Branco e Porto Velho ocorreu no sexo feminino em 2016. Em 2013 houve pequena diferença na prevalência de obesidade entre Rio Branco e Porto Velho, e, especificamente, no sexo feminino não diferença percentual entre as cidades analisadas.

Gráfico 2 - Diferença percentual na prevalência de obesidade em adultos entre as cidades de Rio Branco e Porto Velho nos anos de 2013, 2016 e 2019.



Na região Norte, a quantidade de pessoas com excesso de peso está acima da média nacional, 54,4% (BRASIL, 2020). A cidade de Rio Branco está entre as capitais com maiores prevalências de obesidade apresentadas entre os homens do Brasil, com o índice de (23,3%) e entre as mulheres com (23,4%) (BRASIL, 2020). Atualmente Porto Velho está entre as 5 capitais com maiores prevalências de excesso de peso e obesidade em adultos do país (BRASIL, 2020).

Inferimos que a causa do aumento da proporção de excesso de peso e obesidade de Rio Branco e Porto Velho está diretamente relacionado as condições sociais ao acesso à saúde, a má alimentação e a falta de exercícios físicos e fatores genéticos (ARAÚJO; ARAÚJO, 2000). Fortes evidências de estudo com delineamento de coorte prospectivo associaram o sobrepeso e a obesidade aos

riscos aumentados de doenças não transmissíveis e mortalidade prematura em populações chinesas (PAN; WANG; PAN, 2021).

No contexto dos resultados deste estudo, a alta prevalência de excesso de peso e de obesidade em Rio Branco e Porto Velho podem ocorrer concomitante as situações de vulnerabilidade dessas cidades. As situações de saúde da população e sua relação com rendimentos financeiros têm reflexo direto no padrão de seu consumo alimentar e de sua prática de atividade física, ocasionado em um forte fator de risco para obesidade. Uma população economicamente vulnerabilizada, alta exposição aos alimentos com alta densidade energética e baixa adesão as práticas de atividade física está associada à ascensão do crescimento da obesidade (BARROS *et al.*, 2011). A obesidade também está relacionada ao desemprego, desvantagens sociais e redução da produtividade socioeconômica, criando assim um fardo econômico crescente (BLÜHER, 2019).

Assim, reconhecemos que o presente estudo sobre a tendência temporal do excesso de peso e obesidade é importante para auxiliar no planejamento de ações de monitoramento e prevenção. Entretanto, é imperativo que tenhamos um Sistema Único de Saúde (SUS) fortalecido, políticas públicas baseadas em evidência científicas e livres de conflitos de interesses econômicos alheios a promoção da saúde, bem como a criação de ambientes saudáveis propícios à prática de atividade física e a segurança alimentar e nutricional da população.

CONCLUSÃO

Em suma, os adultos de Rio Branco e Porto Velho tiveram aumento percentual nas prevalências de excesso de peso e obesidade no período de 2013 a 2019. Os adultos de Rio Branco mostraram menores prevalências de excesso de peso nos anos de 2013 e 2016 e valor semelhante em 2019. Na obesidade, os adultos de Rio Branco tiveram maiores houve maior prevalência nos anos de 2013, 2016 e 2019.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. S. M. S. de; ARAÚJO, C. G. S. de. Aptidão física, saúde e qualidade de vida relacionada à saúde em adultos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 6, p. 194–203, 2000.
- BARROS, M. B. de A. *et al.* Tendências das desigualdades sociais e demográficas na prevalência de doenças crônicas no Brasil, PNAD: 2003–2008. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 3755–3768, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigitel Brasil 2013: vigilância de fatores de risco proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigitel Brasil 2016: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigitel Brasil 2019: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico**. Brasília: Ministério da Saúde, 2020.
- BLÜHER, M. Obesity: global epidemiology and pathogenesis. **Nature Reviews. Endocrinology**, v. 15, n. 5, p. 288–298, 2019.
- CABALLERO, B. Humans against Obesity: Who Will Win?. **Advances in Nutrition (Bethesda, Md.)**, v. 10, n. suppl_1, p. S4–S9, 2019.
- GADDE, K. M. *et al.* Obesity: Pathophysiology and Management. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 71, n. 1, p. 69–84, 2018.
- JANSSEN, F.; BARDOUTSOS, A.; VIDRA, N. Obesity Prevalence in the Long-Term Future in 18 European Countries and in the USA. **Obesity Facts**, v. 13, n. 5, p. 514–527, 2020.
- LUPPINO, F. S. *et al.* Overweight, obesity, and depression: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. **Archives of General Psychiatry**, v. 67, n. 3, p. 220–229, 2010.
- PAN, X.-F.; WANG, L.; PAN, A. Epidemiology and determinants of obesity in China. **The Lancet. Diabetes & Endocrinology**, v. 9, n. 6, p. 373–392, 2021.

UNRESTRICTED ONE-DIMENSIONAL METHODS APPLIED TO SOLVING NON- LINEAR PROGRAMMING PROBLEMS

Simone Silva Frutuoso de Souza

ABSTRACT

This paper aims to perform a comprehensive analysis of unconstrained one-dimensional methods, focusing on their application in solving nonlinear programming (NLP) problems. Three optimization methods will be explored: the Golden Section method, the Bisection method and the Newton method. In order to evaluate and compare the performance of each method, they will be applied to solving an NLP problem. The analysis will be carried out based on parameters such as the number of iterations required for convergence, execution time, the optimal point found and the accuracy of the solution. Each method has a distinct methodology to approach the optimization problem. Through comparative analysis, it will be possible to understand how each method operates and identify its advantages and disadvantages in relation to the others. The implementation of the methods will be carried out using MATLAB software, widely used in numerical calculations and simulations. To guarantee the reliability of the analysis, a classic non-linear problem will be used, present in the bibliography consulted. This approach will make it possible to visualize and prove the results obtained in the simulations, validating the comparative analysis of the methods. It is expected that this work will contribute to the understanding of unrestricted one-dimensional methods and their applications in NLP problems, providing relevant information for choosing the most appropriate method for each situation.

keywords: one-dimensional methods; nonlinear programming; problem solving.

INTRODUCTION

The basic methods of unconstrained optimization are used to minimize/maximize nonlinear functions, or rather, to find the global minimum point of the problem. Among these methods, the following are addressed: the Golden Section method, the Bisection method, and Newton's method (BAZARAA, 1993), (GILAT, 2008).

To facilitate the understanding of this work, a general approach is made to the concept of optimization, aiming to present the theoretical aspects and algorithms of each of the methods implemented in this work.

Optimization techniques are frequently used in many areas. In economics, for example, there is a clear objective of maximizing a company's profits and minimizing the cost of producing a given level of output. In medicine, the goal is to obtain the smallest functional error for the inverse problem of electrical impedance tomography, among others.

Real problems modeled as optimization problems generate functions and constraints that vary considerably. Problems can be linear or nonlinear, unrestricted or restricted, one-dimensional or multidimensional, and the search can be for the global optimum or the local optimum. Solving an optimization problem analytically is often not a trivial task, requiring recourse to iterative and computational techniques (BUZBY, 1974), (NERY, 2007).

There are several iterative optimization techniques for the most diverse types of problems, but there is no general-purpose technique.

The general formulation for an optimization problem is (BAZARAA, 1993), (LUENBERGER, 1984):

$$\begin{cases} \min f(x) \\ s.a. \\ x \in X, X \subset R^n \end{cases} \quad (1)$$

The function $f(x)$ is known as the objective function and is a function of n variables, "s.a." is short for "subject to", equality or inequality restrictions.

If $x \in R^n$, then it is an unconstrained optimization problem. Most of the methods in the literature to solve this type of problem have the following basic structure (BAZARAA, 1993), (DAVIDON, 1995):

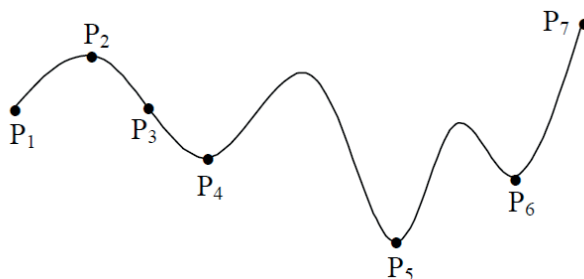
- I. Choose a starting point $x \rightarrow 0 \in X$ and do $x \leftarrow 0$;
- II. Determine a feasible direction of descent d_k , that is:

Determine the optimal value of α by solving the one-dimensional search problem:

- III. Perform $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$ and check if it x_{k+1} satisfies any optimality condition. If not, perform $k \leftarrow k + 1$ and return to step II.

The solution sought for the problem, or optimum point, is classified as global (absolute, relative to the entire domain) or local (relative to a specific region). The figure below highlights some important points. Point P5 is a global minimum, which is the point at which the function reaches its lowest absolute value among all points in the domain; P4 and P6 are local minimums, that is, points of lowest value for the function in a finite neighborhood and not at the extremes of this neighborhood; P2 is a maximum point and P3 is an inflection point. Points P1 and P7 are called edge points at which the first derivative does not vanish, therefore they are not critical points of the objective function. However, depending on the problem in question, for example, in restricted problems, it is necessary to seek the optimum point at the edge. (NERY, 2007).

Figure 1 - Illustration of extreme points: P1 and P7: edge, P2: local maximum,



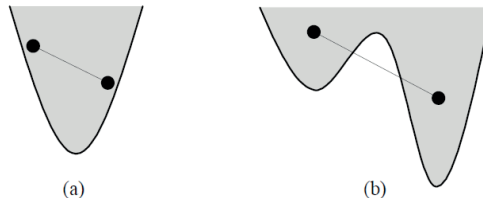
P3: inflection, P4 and P6: local minima and P5: global minimum.

By definition, a function is said to be convex in a real space if, for x_1, x_2 belonging to the domain and all $\alpha, 0 \leq \alpha \leq 1$, the inequality is satisfied, this means that a function is convex if the region above the curve is convex, that is, given any two points above the curve there is a straight line segment that connects these two points and does not cut the curve, as shown in figure 2. (NERY, 2007), (JACOBY, 1972).

Iterative methods for nonlinear optimization generally start from an initial point x_0 and calculate, using a given rule, a sequence $\{x_i\}$ that must converge in order to reach a solution as close as desired and as the computer allows to the optimal solution x^* . The existing methods differ from each other in the rule by which the new points are calculated. Typically, the point x_{k+1} (solution of iteration $k + 1$) is obtained by shifting x_k (solution of iteration k) a distance α_k in the direction d_k , that is:

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k \quad (2)$$

Figure 2 - (a) Convex set, (b) Non-convex set.



The unrestricted one-dimensional methods are presented below.

THEORETICAL BASIS

Golden Section Method

The golden section method is based on reducing the initial uncertainty range through functional evaluations in the golden ratio ($\approx 0,618$).

Below is the golden section algorithm: (BAZARRA, 1993).

- I. Choose the allowable tolerance for the length of the uncertainty interval $\varepsilon > 0$. $[a, b]$ is the initial uncertainty interval. Let:

$$\lambda_1 = a_1 + (1 - \alpha)(b_1 - a_1) \quad (3)$$

$$\mu_1 = a_1 + \alpha(b_1 - a_1) \quad (4)$$

Where $\alpha \approx 0,618$. Calculate $\theta(\lambda_1)$ and $\theta(\mu_1)$.

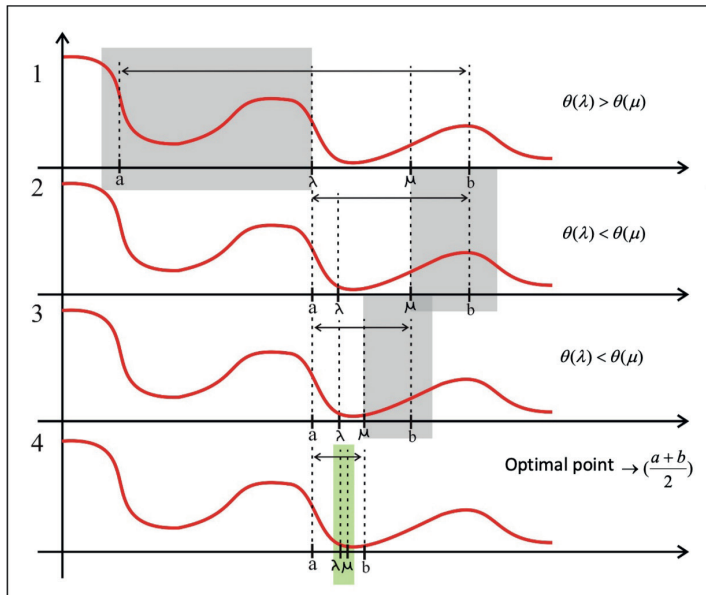
II. If $(b_k - a_k) < \varepsilon$ then stop. The optimal solution lies in the uncertainty interval $[a_k - b_k]$. If $\theta(\lambda_1) > \theta(\mu_1)$ go to step III. Otherwise, if $\theta(\lambda_1) < \theta(\mu_1)$ go to step IV.

III. Define the new uncertainty interval with $a_{k+1} = \lambda_k$ and $b_{k+1} = b_k$. Let $\lambda_{k+1} = \mu_k$ and $\mu_{k+1} = a_{k+1} + \alpha(b_{k+1} - a_{k+1})$. $\theta(\lambda_{k+1}) = \theta(\mu_k)$. Calculate $\theta(\mu_{k+1})$.

IV. Define the new uncertainty interval with $a_{k+1} = \lambda_k$ and $b_{k+1} = b_k$. Let $\lambda_{k+1} = \mu_k$ and $\mu_{k+1} = a_{k+1} + \alpha(b_{k+1} - a_{k+1})$. $\theta(\mu_{k+1}) = \theta(\lambda_k)$. Calculate $\theta(\lambda_{k+1})$.

The following figure illustrates how the golden section method works.

Figure 3 - Illustrative iterations of the golden section method.



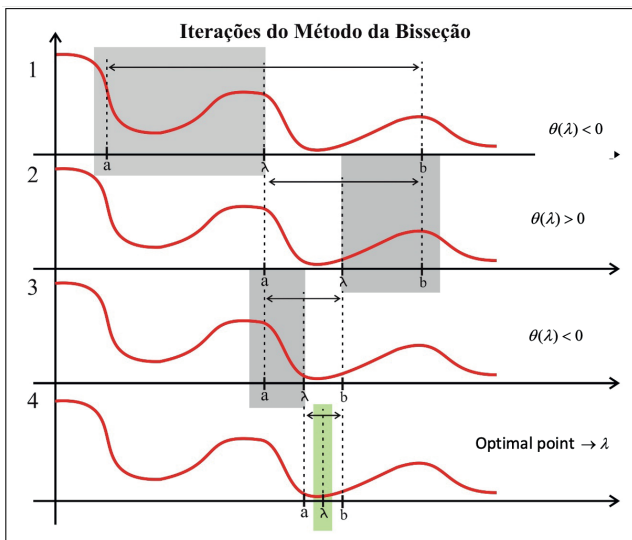
As can be seen in figure 3, the golden section method calculates the optimal values $\theta(\lambda_1)$ and $\theta(\mu_1)$, and thus through the relationships between them, the left side is updated when $\theta(\lambda_1) > \theta(\mu_1)$, and $\theta(\lambda_1) < \theta(\mu_1)$ to update the right side, and so on until λ_1 and θ_1 are at the same point, exceeding the tolerance, the optimal point of the problem.

Bisection Method

It is a method to minimize a generic function $\theta(\lambda)$ of one variable over a closed and bounded interval. $\theta(\lambda)$ It is pseudo-convex and therefore differentiable. It is based on reducing the initial uncertainty interval using information from the first derivatives.

The following figure illustrates how the Bisection method works.

Figure 4 - Illustrative iterations of the bisection method.



The bisection method algorithm: (BAZARRA, 1993), (GILAT, 2008).

- I. $[a_1, b_1]$ is the initial uncertainty interval and ε is the maximum length of the final uncertainty interval. $k = 1$. Calculate $\theta'(\lambda_k)$. If $\theta'(\lambda_k) = 0$ then, by the pseudo-convexity of $\theta(\lambda)$, λ_k is a minimum point. If $\theta'(\lambda_k) > 0$, go to step II. Otherwise, go $\theta'(\lambda_k) < 0$ to step III.

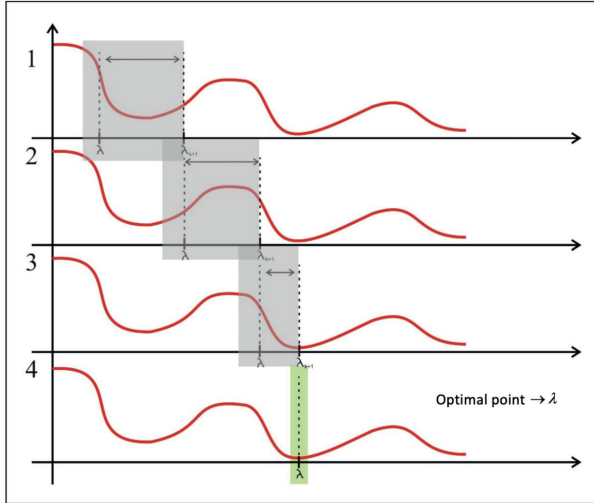
- II. Since $\theta'(\lambda_k) > 0$, then for $\lambda > \lambda_k$ we have that $\theta'(\lambda_k)(\lambda - \lambda_k) > 0$ and by the pseudo-convexity of $\theta(\lambda)$ we have that $\theta(\lambda) \geq \theta(\lambda_k)$. The minimum occurs to the left of λ_k . Therefore, we define the new uncertainty interval $[a_{k+1}, b_{k+1}] = [a_k, \lambda_k]$. Go to step IV.
- III. Since $\theta'(\lambda_k) < 0$, then for $\lambda < \lambda_k$, $\theta'(\lambda_k)(\lambda - \lambda_k) > 0$ then $\theta(\lambda) \geq \theta(\lambda_k)$. The minimum occurs to the right of λ_k . The new uncertainty interval is $[a_{k+1}, b_{k+1}] = [\lambda_k, b_k]$. Go to step IV.
- IV. If $(b_k - a_k) < \varepsilon$ then the minimum is approximated as being the midpoint of the extremes of the uncertainty interval.
- V. As can be seen in Figure 4, the bisection method calculates the value $\lambda = (a + b) / 2$, that is, a midpoint, after which the value is calculated $\theta(\lambda)$, which is the value of the midpoint in the function. Thus, it is used $\theta'(\lambda_k) < 0$ to update the left side and $\theta'(\lambda_k) > 0$ to update the right side, and so on until a and b are at the same point, exceeding the tolerance, and being λ the optimal point of the problem.

Newton's method

Newton's method is based on the quadratic approximation of the function $q(\lambda)$ for a given point λ_k .

The following figure illustrates how Newton's method works.

Figure 5 - Illustrative iterations of the bisection method.



This approximation is shown in equation (5). (BAZARRA, 1993), (NERY, 2007).

$$q(\lambda) = \theta(\lambda_k) + \theta'(\lambda_k)(\lambda - \lambda_k) + \frac{1}{2}\theta''(\lambda_k)(\lambda - \lambda_k)^2 \quad (5)$$

The point λ_{k+1} is assumed to be the point where the derivative of $q(\lambda)$ is zero. This fields $\theta'(\lambda_k) + \theta''(\lambda_k)(\lambda_{k+1} - \lambda_k) = 0$. Hence, we obtain the recursive equation of Newton's method expressed in (6).

$$\lambda_{k+1} = \lambda_k - \frac{\theta'(\lambda_k)}{\theta''(\lambda_k)} \quad (6)$$

The process terminates when $|\lambda_{k+1} - \lambda_k| < \varepsilon$ or when $|\theta'(\lambda_k)| < \varepsilon$. Newton's method is applicable only to twice differentiable functions. Furthermore, the process is well-defined only if $\theta''(\lambda_k) \neq 0$.

As can be seen in Figure 5, Newton's method calculates the value λ that is the starting point, that is, from this point the method moves towards the optimal solution by calculating the next point λ_{k+1} , always calculating the gradient of the 1st and 2nd derivatives of the function at each iteration and thus directing

it towards the optimal solution. So, when the gradient exceeds the tolerance it will be at the optimal point l , the optimal point of the problem.

MATERIALS AND METHODS

In this phase of the work, one-dimensional search algorithms are implemented, and their performance in relation to solving the following problem is observed:

Consider the function:

$$f(x) = (x_1 - 2)^4 + (x_1 - 2x_2)^2 \quad (7)$$

From the initial point $x_0 = (1,1)$, obtain the optimal step value that minimizes the function along the direction d_0 given by: (BAZARRA, 1993).

$$d_0 = \frac{\nabla f(x_0)}{\|\nabla f(x_0)\|} \quad (8)$$

Thus, through the analysis of the implemented methods, results can be obtained considering the theoretical and computational aspects.

So to solve this problem by a one-dimensional method it is necessary to transform the multidimensional problem into a one-dimensional problem. This process is presented below:

Initially, the gradient of the function $f(x)$ is obtained using formula (9). (BAZARRA, 1993).

$$\nabla f(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(x)}{\partial x_2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Therefore, the gradient of the function $f(x)$ is presented:

$$\nabla f(x) = \begin{bmatrix} (4x_1^3 - 24x_1^2 + 50x_1 - 4x_2 - 32) \\ (-4x_1 + 8x_2) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Since we have the gradient of $f(x)$, we substitute the initial point $x_0 = (1,1)$, and we obtain the representation of the gradient value at the point x_0 :

$$\nabla f(x_k) = \begin{bmatrix} -6 \\ 4 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Thus, using formula (12), we identify the new value for the next point x_{k+1} :

$$x_{k+1} = x_k + \alpha \nabla f(x_k) \quad (12)$$

So we have:

$$x_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} -6 \\ 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - 6\alpha \\ 1 + 4\alpha \end{bmatrix} \quad (13)$$

the analysis with the methods is presented below.

$$\begin{cases} \min & f(x_{k+1}) = f(\alpha) = [(1 - 6\alpha) - 2]^4 + [(1 - 6\alpha) - 2(1 + 4\alpha)]^2 \\ \text{s.t.} & \alpha \in \mathbb{R}^1 \end{cases} \quad (14)$$

Where α is a symbolic one-dimensional variable.

From this problem, simulations are carried out with the methods and thus an analysis is made in relation to the number of iterations, execution time and performance of the method in solving the problem.

RESULTS AND DISCUSSIONS

After applying the previous function in the one-dimensional search methods, we have the results expressed in tables 1, 2 and 3 below:

Table 1 - Simulation results of the Golden Section method.

k	a(k)	b(k)	b _k - a _k	L(k)	M(k)	Theta(L(k))	Theta(M(k))
1	-10.0000	10,0000	20,0000	-2.3607	2.3607	31057.6238	54036.0416
2	-10.0000	2.3607	12.3607	-5.2786	-2.3607	890347.5685	31057.6238
3	-5.2786	2.3607	7.6393	-2.3607	-0.5573	31057.6238	76.4378
4	-2.3607	2.3607	4.7214	-0.5573	0.5573	76.4378	433.4605
5	-2.3607	0.5573	2.9180	-1.2461	-0.5573	2030.0727	76.4378
6	-1.2461	0.5573	1.8034	-0.5573	-0.1316	76.4378	0.7106
7	-0.5573	0.5573	1.1146	-0.1316	0.1316	0.7106	18.3268
8	-0.5573	0.1316	0.6888	-0.2942	-0.1316	10.0667	0.7106
9	-0.2942	0.1316	0.4257	-0.1316	-0.0311	0.7106	0.7578
10	-0.2942	-0.0311	0.2631	-0.1937	-0.1316	2.9294	0.7106
11	-0.1937	-0.0311	0.1626	-0.1316	-0.0932	0.7106	0.1305
12	-0.1316	-0.0311	0.1005	-0.0932	-0.0694	0.1305	0.1166
13	-0.0932	-0.0311	0.0621	-0.0694	-0.0548	0.1166	0.2574
14	-0.0932	-0.0548	0.0384	-0.0785	-0.0694	0.0881	0.1166
15	-0.0932	-0.0694	0.0237	-0.0841	-0.0785	0.0917	0.0881
16	-0.0841	-0.0694	0.0147	-0.0785	-0.0750	0.0881	0.0939
17	-0.0841	-0.0750	0.0091	-0.0806	-0.0785	0.0876	0.0881
18	-0.0841	-0.0785	0.0056	-0.0820	-0.0806	0.0885	0.0876
19	-0.0820	-0.0785	0.0035	-0.0806	-0.0798	0.0876	0.0875
20	-0.0806	-0.0785	0.0021	-0.0798	-0.0793	0.0875	0.0876
21	-0.0806	-0.0793	0.0013	-0.0801	-0.0798	0.0875	0.0875
22	-0.0806	-0.0798	0.0008	-0.0803	-0.0801	0.0875	0.0875

Source: Prepared by the Author.

Approximate Result: -0.08024 (Accuracy: 1.0e-003). Function Value: 0.08753

Table 2: Newton method simulation results

k	l(k)	d'theta(k)	d ² theta(k)	l(k+1)
1	1.0000	8652.0000	21560.0000	0.5987
2	0.5987	2586.9034	9502.1769	0.3265
3	0.3265	777.6064	4173.8109	0.1402
4	0.1402	232.6700	1856.0291	0.0148
5	0.0148	64.7734	904.0898	-0.0569
6	-0.0569	12.5792	579.5459	-0.0786
7	-0.0786	0.7516	512.7348	-0.0800
8	-0.0800	0.0029	508.7510	-0.0800

Source: Prepared by the Author.

Approximate Result: -0.08003 (Accuracy: 1.0e-003). Function Value: 0.0875

Table 3 - Bisection method simulation results.

k	a(k)	b(k)	(bk - ak)	L(k)	dteta
1	-10.0000	10,0000	20,0000	0.0000	52.0000
2	-10.0000	0.0000	10,0000	-5.0000	-587268.0000
3	-5.0000	0.0000	5,0000	-2.5000	-66808.0000
4	-2.5000	0.0000	2,5000	-1.2500	-7053.0000
5	-1.2500	0.0000	1.2500	-0.6250	-716.1250
6	-0.6250	0.0000	0.6250	-0.3125	-110.5781
7	-0.3125	0.0000	0.3125	-0.1563	-33.2441
8	-0.1563	0.0000	0.1563	-0.0781	0.9734
9	-0.1563	-0.0781	0.0781	-0.1172	-17.3095
10	-0.1172	-0.0781	0.0391	-0.0977	-8.5775
11	-0.0977	-0.0781	0.0195	-0.0879	-3.9189
12	-0.0879	-0.0781	0.0098	-0.0830	-1.5038
13	-0.0830	-0.0781	0.0049	-0.0806	-0.2732
14	-0.0806	-0.0781	0.0024	-0.0793	0.3481
15	-0.0806	-0.0793	0.0012	-0.0800	0.0370

Source: Prepared by the Author.

Approximate Result: -0.07996 (Accuracy: 1.0e-003). Function Value: 0.0875

The results obtained previously are the results of the Golden Section method, Bisection method and Newton method respectively, these results were obtained from the following data:

1. Lower and upper limit:

$$a(k) = -10; b(k) = 10$$

2. Initial λ for Newton's method:

$$\lambda(k) = 1$$

3. Objective Function

$$\min f(x_0) = f(\alpha) = [(1 - 6\alpha) - 2]^4 + [(1 - 6\alpha) - 2(1 + 4\alpha)]^2$$

4. Tolerance

$$\varepsilon = 0.001$$

The following table shows a comparison between the result obtained in all methods:

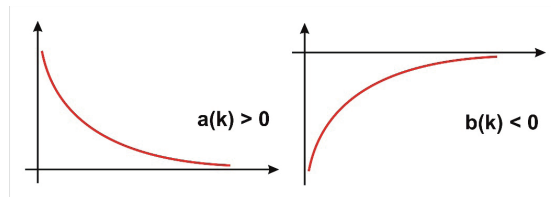
Table 4 - Results of parameters for comparative analysis between methods.

Method	Number of iterations	Time	Great point x^*	$f(x)^*$
Golden Section	22	3,858 s	0.08753	0.08024
Bisection	15	3,509 s	0.0875	0.07996
Newton	8	3,133 s	0.0875	0.08003

Source: Prepared by the Author.

The following figure illustrates the convergence characteristic of the methods in relation to the initial points: (BAZARRA, 1993), (GILAT, 2008), (NERY, 2007).

Figure 6 - Convergence characteristic of the methods.



As the standard convergence characteristics of the implemented methods are known, the convergence of each of the methods for carrying out an analysis is presented below.

Figures 7, 8 and 9 show the iteration-by-iteration convergence paths of the Golden Section, Bisection and Newton methods.

Figure 7 - Convergence path of the Golden Section method.

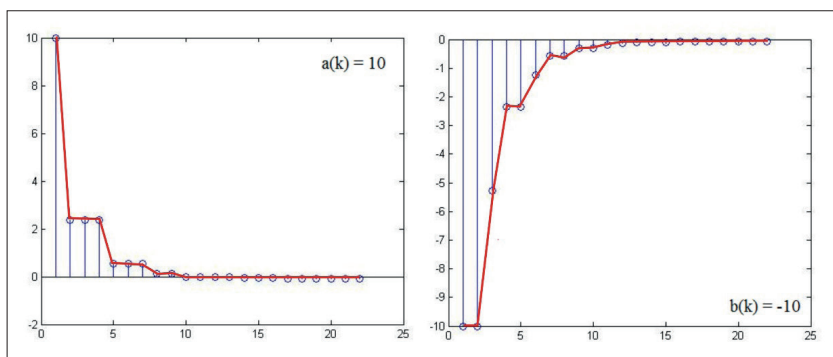


Figure 8 - Convergence path of the Bisection method.

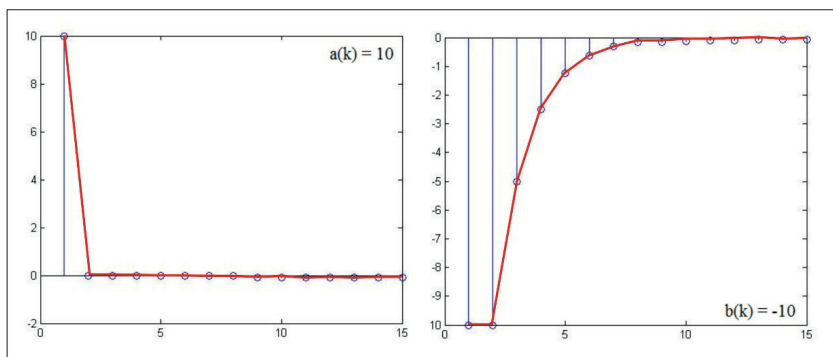
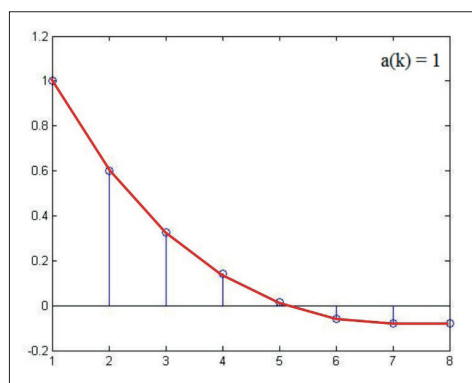


Figure 9 - Convergence path of Newton's method.



From the results obtained in the simulations of the one-dimensional methods presented previously, an analysis can be made from two points of view, the theoretical point of view and the computational point of view.

Theoretical Aspect: Through the bibliographical references it can be concluded that the results obtained in the simulations of the methods are satisfactory, since the Newton method has a faster convergence, followed by the Bisection method and finally the Golden Section method. This is because the Newton method uses the 1st and 2nd derivatives of the objective function, making the dimensional space smaller, and the Bisection method uses the 1st derivative, also reducing the space, unlike the Golden Section method which does not use any derivative. Thus, the methods that use derivatives do nothing more than reduce the search space, thus reducing the number of iterations.

Observing the graphs of the convergence paths, it can be noted that the methods are effective and that they converge with the initial value assigned; the convergence characteristics of the methods are similar to the standard characteristics for the convergence of an unrestricted one-dimensional method.

Computational Aspect: Through the implementations it can be concluded that the methods can be implemented easily, and that they have good performance. These are problems that require computer processing to perform calculations in all iterations, but the algorithms behave well, converging in a short space of time.

CONCLUSIONS

For this work, different nonlinear optimization methods, the so-called unrestricted one-dimensional methods, were implemented. Through the simulations, it was possible to obtain results with good quality data, where it was possible to make an evaluation and comparison between the methods in order to verify performance and contribution to the academic environment.

The analysis performed compares the one-dimensional search methods (Golden Section, Bisection and Newton), therefore through the results obtained by the methods in the simulation performed in MATLAB it can be said that Newton's method is the one that converges the fastest, and thus we call it the best one-dimensional search method implemented in this work.

The justification for this method being called the best is the fact that it uses the 1st and 2nd derivatives of the function, thus providing a reduction in the size of the space where it is being worked on, making the optimal point found

faster. In other words, when an n -dimensional space is derived, we have an $n-1$ dimensional space, thus making the space smaller.

There are some exceptions when using Newton's method, when the function is not second-order derivable it is not possible to apply the method, as the function will be constant.

the choice of parameters, rounding errors and the large computational times required to solve the problems is clearly perceived. Thus, what can affect the good execution of the methods are the parameters used in the methods.

So, it can be seen in the illustrative figures of the convergence paths that the methods have safe convergence characteristics and for this to happen there must be a difference between $[a, b]$, that is, without an interval there is no convergence, and the choice of the starting point is fundamental for the good performance of the methods.

Due to the results obtained and the analysis of the behavior of the implemented algorithms, it can be concluded that all methods are good, each with its own specification, and that this work allows a visualization of the problems or aggravations that can occur in solving non-linear problems.

REFERENCES

BAZARAA, MOKHTAR S.; SHERALI, HANIF D.; SHETTY, CM **Nonlinear programming: theory and algorithms**, 2. Ed – New York – Wiley – 1993.

BUZBY, BR **Techniques and experience solving really big nonlinear programs, Optimization Methods**, English Universities Press – London – 1974.

DAVIDON, WC **Variance Algorithm for Minimization**, Computer J – 406 – 410 – 1995.

GILAT, A; SUBRAMANIAM, V. **Numerical Methods for Engineers and Scientists**, Porto Alegre – Bookman – 2008.

JACOBY, SLS; KOWALIK, JS; PIZZO, JT **Iterative Methods for nonlinear optimization problems**. Prentice-Hall – 1972.

LUENBERGER, DG **Introduction to Linear and Nonlinear Programming**, Addison – Wesley – 1984.

NERY, RS **Hybrid Methods for solving nonlinear programming problems** University of São Paulo – USP – Monograph course on mathematics applied to business – 2007.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açaí: 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Acesso à Informação: 116, 123, 424, 434

Adubo Verde: 80, 83, 91, 94, 98, 395, 396, 398

Alelopatia: 80, 81, 86, 98, 99, 100, 397, 405, 406

Amido: 258, 259, 364, 365, 366, 367, 368, 369

Amphilophium: 129, 130, 134, 136, 137

Analgesia: 288, 298, 300, 301, 303, 304

Antena Microstrip: 179, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 188, 193, 197, 199

Anticancer: 47, 48, 49, 50, 54, 55, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 275

Anti-Inflamatório: 33, 169, 171, 299

Antioxidant: 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 177, 178, 406, 409

Antioxidantes: 31, 33, 38, 44, 60, 61, 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 265, 301, 395, 397, 398, 404, 405

Aprendizagem Significativa: 12, 23, 24, 26

Argilas: 249, 258, 259, 261, 267, 271

Atleta: 29

B

Beneficial Bacteria: 274, 276

Bibliotecas: 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 115, 120, 123, 124, 125, 127, 128

Bignoniaceae: 98, 130, 132, 137, 138, 141

Bioenergia: 364

Biological Control: 274, 276, 283, 284, 285, 286

Bioquímica Analítica: 226, 227

Biorrefinaria: 364

Buffers: 226, 227, 233, 246, 247

C

Câncer de Pênis: 386, 387, 391, 393

Câncer de Próstata: 175, 386, 387, 393

Carcinoma de Células Renais: 144, 150, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393

Carcinoma Papilífero Renal: 142, 143

Carreamento: 249, 261

Cateteres Urinários: 350, 352

Cefaleia Tensional: 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167

Cell: 48, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 59, 65, 67, 69, 72, 73, 75, 101, 178, 267, 270, 373, 407

Compostos Secundários: 80, 100

Construções Verdes: 202

Cranberry: 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178

CRAS: 329, 337, 341

CST Studio: 180, 181, 199

CST Studio Suite: 180, 181, 199

Cuidado Paliativo: 149

Cytotoxicity: 48, 52, 59, 61, 62, 65, 69, 75, 78

D

Desempenho no Trabalho: 411, 414

Diagnóstico Clínico: 151, 152, 154, 155, 166

Diseño de Antenas: 180, 184

Doença Renal Crônica: 143, 146, 147, 148, 149, 150

E

Eficiência Energética: 202, 209

Energia Renovável: 202, 217

Enfermeiros: 346, 411, 412, 413, 414, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422

Ensino de Química: 12, 13, 15, 22, 25

Enzimas Antioxidantes: 395, 398, 404, 405

Equipa de Enfermagem: 411, 414

Essential oil: 47, 48, 54, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 71, 74, 76, 77, 78

Eugenol: 65, 66, 67, 71, 74, 75, 76, 77, 78

Euterpe: 28, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 43, 44, 45, 46

Excesso de Peso: 439, 440, 441, 443, 444, 445, 446, 447, 448

Exclusão Digital: 424, 426

Extrato Aquoso: 80, 87, 89, 90, 91, 92, 94, 100, 399

F

Fatores de Risco: 349, 350, 352, 353, 361, 362, 388, 391, 392, 393, 411, 422, 440, 442, 449

Fitoquímica: 32, 46, 61, 63, 84, 87, 100, 130, 399,

407, 408, 409

FR4: 179, 180, 181, 197, 199

Fusarium Wilt: 274, 275, 283, 284, 285, 286

G

Gestão de Crédito Bancário: 376

Gomas: 249, 258, 259, 260, 265

H

Hidrogel: 249, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266

I

Infecção do Trato Urinário: 169, 171, 362

Infeções Urinárias: 350, 353, 355

L

Leishmania: 61, 130, 131, 134, 138

M

Machine Learning: 306

Medicamentos: 139, 157, 158, 160, 162, 163, 249, 250, 252, 253, 254, 259, 260, 265, 266, 267, 300, 301, 302

Milho: 98, 100, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 373, 407

Modelagem de Tópicos: 12, 13, 15, 16, 17, 19, 24

Muvuca de Sementes: 395, 396, 408

N

Neoplasia: 143, 144, 148, 149, 150, 288, 294, 298, 387, 388, 390, 392, 393

Neoplasia Renal: 143, 148, 150

Neoplasias Múltiplas: 386, 387, 388, 392

Nocicepção: 288, 304

Nonlinear Programming: 451, 466

O

Obesidade: 143, 148, 149, 150, 250, 439, 440, 441, 443, 444, 445, 446, 447, 448

Oncogeriatría: 143

One-Dimensional Methods: 450, 451, 454, 464, 465

Operações de Crédito: 376, 379, 380, 381, 382, 383, 384

P

Pattern Recognition: 306, 315

pH: 52, 55, 69, 72, 83, 85, 86, 135, 147, 171, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 254, 255, 256, 258, 262, 266, 267, 268, 298, 364, 366, 367, 369, 370, 371

Planta Indesejável: 80, 97

Políticas: 25, 103, 123, 125, 158, 165, 360, 361, 379, 380, 383, 418, 429, 431, 434, 436, 448

Prevalência: 13, 144, 153, 154, 160, 165, 250, 289, 349, 350, 351, 352, 353, 357, 358, 359, 360, 361, 391, 422, 440, 441, 444, 445, 446, 447, 448, 449

Prevenção: 33, 34, 38, 43, 126, 149, 163, 165, 169, 170, 172, 173, 176, 177, 289, 331, 350, 351, 353, 355, 358, 359, 360, 361, 411, 413, 441, 448

Problem Solving: 451

Provisões Para Devedores Duvidosos: 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383

Q

Qualidade de Vida: 128, 144, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 158, 159, 162, 165, 166, 167, 250, 288, 289, 294, 296, 298, 302, 303, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 335, 336, 339, 340, 341, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 388, 391, 411, 418, 449

Qualidade de Vida: 128, 144, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 158, 159, 162, 165, 166, 167, 250, 288, 289, 294, 296, 298, 302, 303, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 335, 336, 339, 340, 341, 342, 343, 345, 346, 347, 348, 388, 391, 411, 418, 449

Química Forense: 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26

R

Recurso Ergogênico: 28, 29

Resistência a Antibióticos: 350

RPA: 306, 308

S

Série Temporal: 440, 442

Síndrome de Burnout: 410, 411, 412, 413, 414, 417, 421, 422

Sofrimento Psíquico: 161, 329

Soil-Borne Fungi: 274

Soluções Tampão: 225, 226, 227, 228, 230, 231, 233, 234, 246

Suplementação: 29, 31, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 174, 176

Suporte Organizacional: 328, 329, 330, 331,

332, 334, 336, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 416	:
Syzygium: 64, 65, 66, 74, 76, 77, 78	:
T	:
Tecnologias: 104, 204, 207, 210, 221, 222, 253, 361, 423, 424, 425, 426, 428, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438	:
Terapia: 144, 146, 147, 150, 153, 163, 166, 167, 264, 288, 289, 357, 361, 387	:
Terapias Integrativas: 152	:
Tiometoxam: 364	:
Tomato Diseases: 274	:
Tumor: 48, 56, 60, 66, 67, 73, 144, 147, 148, 297, 298, 387, 389, 392	:
V	:
Vigilância: 140, 358, 386, 387, 388, 390, 391, 392, 440, 442, 449	:



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

