



Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas

*José Weverton Almeida-Bezerra
Lucas Yure Santos da Silva
(Organizadores)*

Atena
Editora
Ano 2025



Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas

*José Weverton Almeida-Bezerra
Lucas Yure Santos da Silva
(Organizadores)*

Atena
Editora
Ano 2025

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2025 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2025 O autor

Copyright da edição © 2025 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Biológicas e da Saúde

Profª Drª Aline Silva da Fonte Santa Rosa de Oliveira – Hospital Federal de Bonsucesso

Profª Drª Ana Beatriz Duarte Vieira – Universidade de Brasília

Profª Drª Ana Paula Peron – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Bruno Edson Chaves – Universidade Estadual do Ceará

Profª Drª Camila Pereira – Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí

Profª Drª Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Prof. Dr. Davi Oliveira Bizerril – Universidade de Fortaleza

Profª Drª Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Guillermo Alberto López – Instituto Federal da Bahia

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Delta do Parnaíba – UFDPAr

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Aderval Aragão – Universidade Federal de Sergipe

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Kelly Lopes de Araujo Appel – Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal

Profª Drª Larissa Maranhão Dias – Instituto Federal do Amapá

Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Luciana Martins Zuliani – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof. Dr. Maurilio Antonio Varavallo – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Max da Silva Ferreira – Universidade do Grande Rio

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Renato Faria da Gama – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Profª Drª Sheyla Mara Silva de Oliveira – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Suely Lopes de Azevedo – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Taísa Ceratti Treptow – Universidade Federal de Santa Maria

Profª Drª Thais Fernanda Tortorelli Zarili – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade Federal de Itajubá

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Explorando fronteiras nas ciências biológicas

Diagramação: Thamires Camili Gayde
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: José Weverton Almeida-Bezerra
 Lucas Yure Santos da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E96	<p>Explorando fronteiras nas ciências biológicas / Organizadores José Weverton Almeida-Bezerra, Lucas Yure Santos da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3159-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.596251301</p> <p>1. Ciências biológicas. I. Almeida-Bezerra, José Weverton (Organizador). II. Silva, Lucas Yure Santos da (Organizador). III. Título. CDD 570</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação da obra publicada, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Este livro reúne uma série de estudos e análises aprofundadas sobre temas relevantes nas áreas da saúde e ciências naturais. Por meio de investigações rigorosas e abordagens metodológicas inovadoras, os autores fornecem contribuições significativas para o avanço do conhecimento em áreas de grande impacto social e científico. Abaixo, um resumo dos capítulos que compõem esta obra:

O capítulo 1 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a composição fitoquímica da família Asteraceae, explorando suas ações farmacológicas e as principais classes de compostos encontrados nesta família. O capítulo 2 discute os efeitos em cascata da competição no controle biológico de insetos herbívoros, abordando como esse entendimento pode contribuir para o manejo e controle adequados de certas espécies de insetos. O capítulo 3 relata um estudo fitossociológico realizado no manguezal da Praia do Mangue Seco, no município de Raposa, Maranhão. Com foco no manguezal vermelho, o estudo investigou a dinâmica e a biodiversidade da região. O Capítulo 4 analisa o perfil fitoquímico, as atividades antibacteriana, toxicológica e o potencial modulador de extratos e óleos de *Citrus bergamia* por meio de uma revisão bibliográfica, sugerindo um grande potencial terapêutico para a espécie.

O Capítulo 5 discute a fisiopatologia da febre e apresenta análises experimentais sobre piroxia, oferecendo uma revisão bibliográfica sobre estudos relacionados ao desenvolvimento de fármacos para o tratamento da febre. O Capítulo 6 explora o sistema de comunicação acústica do besouro *Dendroctonus adjunctus*, analisando seu aparelho estridulatório e os tipos de chamados emitidos em três contextos comportamentais: estresse, macho-fêmea e macho-macho, destacando padrões acústicos específicos da espécie. O Capítulo 7, com base em um levantamento bibliográfico, discute o uso terapêutico de insetos na medicina tradicional, enfatizando seu potencial como fontes medicinais para promoção da saúde. O Capítulo 8 relata uma experiência no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ) com alunos do Ensino Fundamental I. A experiência integrou laboratórios de pesquisa ao ensino, fomentando a curiosidade, o engajamento e a formação crítica de forma inclusiva para alunos neurodivergentes e neurotípicos.

O Capítulo 9 avalia o fluxo de água no microrreservatório “Bordo la Palapa” em Xalostoc, Ayala, Morelos, considerando as crescentes demandas de água causadas pelas mudanças climáticas e os tipos de cultivos na região. O estudo revelou variações na entrada de água e um déficit no gerenciamento de água para irrigação, especialmente durante meses críticos como maio. Finalmente, o Capítulo 10 investiga os efeitos de campos eletromagnéticos de frequência extremamente baixa (ELF-EMFs) no estresse oxidativo em plantas de tabaco. O estudo sugere que esses campos induzem estresse oxidativo e estimulam o sistema de defesa antioxidante em plantas.

A diversidade de tópicos abordados neste trabalho reflete a complexidade e os desafios multifacetados enfrentados por vários campos do conhecimento. Ao integrar resultados de pesquisas detalhadas com soluções práticas e inovadoras, este livro convida os leitores a refletir sobre as oportunidades e desafios nas áreas de saúde, tecnologia e educação, promovendo avanços que podem resultar em benefícios para a sociedade como um todo.

José Weverton Almeida-Bezerra
Lucas Yure Santos da Silva


CAPÍTULO 1 1**COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA ASTERACEAE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Maria Elizete Machado Generino
 José Weverton Almeida-Bezerra
 Alison Honorio de Oliveira
 Francisca de Fátima Silva de Sousa
 Lariza Leisla Leandro Nascimento
 Francisca Sâmara Muniz dos Santos
 Emílio Sousa Albuquerque
 Jeovane Henrique de Souza
 Marcos Aurélio Figueirêdo dos Santos
 João Pereira da Silva Junior
 Luciene Ferreira de Lima
 Mikael Amaro de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513011>

CAPÍTULO 2 8**POTENTIAL CASCADE EFFECTS OF COMPETITION ON BIOLOGICAL CONTROL OF INSECTS HERBIVORES**

Leandra de Oliveira Costa
 Christian Sherley Araújo da Silva-Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513012>

CAPÍTULO 320**CARACTERIZAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA DE *Rhizophora mangle* COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DINÂMICA DO MANGUEZAL DE MANGUE SECO, MUNICÍPIO DE RAPOSA, MARANHÃO**

Lays Rodrigues Silva Santos
 Jade Vilas Boas de Oliveira Lima
 José Magno Pinheiro Alves
 Deuzanir da Conceição Amorim Lima
 Flávia Rebelo Mochel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513013>

CAPÍTULO 429**PERFIL QUÍMICO E ATIVIDADES ANTIBACTERIANA, TOXICOLÓGICA E POTENCIAL MODULADOR DO ÓLEO E EXTRATOS *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau): UMA REVISÃO**

Cicero Lucas Marques de Macedo
 José Weverton Almeida-Bezerra
 José Thyálisson da Costa Silva
 Rafael de Carvalho Mendes
 Rita Helanny Viana Eugenio
 Maria Hellena Garcia Novais
 Adrielson José da Silva
 Francisca de Fátima Silva de Sousa

Eveline Naiara Nuvens Oliveira
 Fabíola Fernandes Galvão Rodrigues
 Tássia Thaís Al Yafawi
 José Walber Gonçalves Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513014>

CAPÍTULO 546

ESTUDO DA FEBRE: FISIOPATOLOGIA E ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Luan Nascimento Mesquita
 Brenda Pinto de Moraes
 João Batista Chaves Silva
 Herika dos Santos Anijar
 Ana Carolina Figueiredo Bouth
 Daniele Carvalho Miller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513015>

CAPÍTULO 665

ACOUSTIC COMMUNICATION IN *dendroctonus adjunctus* BLANDFORD (CURCULIONIDAE SCOLYTINAE): DESCRIPTION OF CALLS AND SOUND PRODUCTION MECHANISM

León L. Cerrillo-Mancilla
 Claudia Cano-Ramírez
 Gerardo Zúñiga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513016>

CAPÍTULO 784

USO TERAPÊUTICO DE INSETOS NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Lucas Ortega Martins
 Cristiano Ramos Gonçalves
 Walkiria Aparecida Benites
 Marildo da Silva Pedro
 Valter Vieira Alves Junior
 Debora da Silva Baldivia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513017>

CAPÍTULO 898

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E EXPERIMENTAÇÃO: VIVÊNCIAS INCLUSIVAS DO ENSINO FUNDAMENTAL I EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA DO CAP-UERJ

Aíres Vanessa Cavalcante dos Santos
 Crystal Candido Breves
 Dandara Conceição de Paula
 Waldiney Cavalcante de Mello

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513018>

CAPÍTULO 9 110**ESTIMACIÓN DEL GASTO EN UN MICRORESERVORIO PERMANENTE DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO**

José Luis Gómez-Márquez

S. García-Limón

J.L. Guzmán-Santiago

R.Trejo-Albarrán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962513019>**CAPÍTULO 10..... 126****LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ELEVATE OXIDATIVE STRESS IN TOBACCO PLANTS**

J. Antonio Heredia-Rojas

Eduardo Alfonso Rebollar Tellez

Pedro Antonio Noguera Diaz

Abraham O. Rodríguez-De la Fuente


Pedro Cesar Cantú Martinez

Omar Heredia-Rodríguez

Deyanira Quistian-Martínez

Alberto Valadez-Lira

Erick Freeze-Gallardo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59625130110>**SOBRE OS ORGANIZADORES 138****ÍNDICE REMISSIVO 139**

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA ASTERACEAE: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Data de submissão: 11/11/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Maria Elizete Machado Generino

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

José Weverton Almeida-Bezerra

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Alison Honorio de Oliveira

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Francisca de Fátima Silva de Sousa

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Lariza Leisla Leandro Nascimento

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Francisca Sâmara Muniz dos Santos

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Emílio Sousa Albuquerque

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Jeovane Henrique de Souza

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Marcos Aurélio Figueirêdo dos Santos

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

João Pereira da Silva Junior

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Luciene Ferreira de Lima

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Mikael Amaro de Souza

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

RESUMO: O uso de plantas medicinais para fins terapêuticos é feito pelo homem desde as primeiras civilizações. A família Asteraceae é conhecida por suas propriedades terapêuticas, cosméticas e aromáticas, com ação anti-inflamatória, antimicrobiana, analgésica, antiespasmódica e diurética. O presente trabalho tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico da composição química de espécies da família Asteraceae. O desenvolvimento da revisão bibliográfica dos artigos foi feito no Scientific Electronic Library Online (SCIELO), optou-se pela pesquisa nesse portal por indexarem estudos avaliados por comitês científicos antes de sua publicação com dados de referência, confiáveis cientificamente e de fácil acesso para mapear o processo de desenvolvimento

de publicações da temática. Os descritores utilizados foram “química asteraceae”. Os critérios de inclusão para posterior análise de dados foi que o texto estivesse em português, que falasse sobre fitoquímica de espécies da família e que fosse publicado entre os anos de 2010 a 2020. Inicialmente foi encontrado vinte e nove artigos, um estava em inglês, dois não falava da fitoquímica e dezessete tinha mais de dez anos de publicação, resultando em apenas nove trabalhos. A partir dos dados coletados e da análise, as revistas que mais publicaram nos últimos anos sobre a família foram Revista Brasileira de Plantas Medicinais e Química Nova, com três publicações cada uma. Foram citadas dezesseis espécies distribuídas em doze gêneros. As classes de compostos mencionadas para a família foram flavonoides, terpenos, taninos, alcaloides, esteroides, cumarinas, antraquinonas e saponinas e carotenoides, assim, percebe-se que as diversas ações farmacológicas atribuídas à família podem está atrelada a diversidade de metabólitos secundários encontrados na família Asteraceae.

PALAVRAS-CHAVE: Fitoquímica, Flavonóides, Plantas Medicinais.

CHEMICAL COMPOSITION OF SPECIES OF THE ASTERACEAE FAMILY: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: The use of medicinal plants for therapeutic purposes has been practiced by humans since the earliest civilizations. The Asteraceae family is known for its therapeutic, cosmetic and aromatic properties, with anti-inflammatory, antimicrobial, analgesic, antispasmodic and diuretic action. The present study aims to conduct a bibliographic survey of the chemical composition of species of the Asteraceae family. The development of the bibliographic review of the articles was carried out in the Scientific Electronic Library Online (SCIELO). The research in this portal was chosen because it indexes studies evaluated by scientific committees before their publication with reference data, scientifically reliable and easily accessible to map the development process of publications on the subject. The descriptors used were “asteraceae chemistry”. The inclusion criteria for subsequent data analysis were that the text should be in Portuguese, that it should discuss the phytochemistry of species of the family, and that it should be published between 2010 and 2020. Initially, twenty-nine articles were found, one was in English, two did not discuss phytochemistry, and seventeen had been published more than ten years ago, resulting in only nine works. Based on the data collected and the analysis, the journals that published the most about the family in recent years were Revista Brasileira de Plantas Medicinais and Química Nova, with three publications each. Sixteen species distributed in twelve genera were cited. The classes of compounds mentioned for the family were flavonoids, terpenes, tannins, alkaloids, steroids, coumarins, anthraquinones and saponins, and carotenoids. Thus, it is clear that the various pharmacological actions attributed to the family may be linked to the diversity of secondary metabolites found in the Asteraceae family.

KEYWORDS: Phytochemistry, Flavonoids, Medicinal Plants.

INTRODUÇÃO

As plantas medicinais constituem parte da biodiversidade e são largamente utilizadas desde os primórdios da civilização por vários povos e de diversas maneiras (FIRMO et al., 2011). O consumo de plantas medicinais tem base na tradição familiar e tornou-se prática generalizada na medicina popular, sendo considerada uma terapia complementar ou alternativa para a promoção da saúde (LOYA et al., 2009).

O uso de plantas medicinais não pode mais ser considerado apenas como cultura de povos ou tradição, mas como ciência que vem sendo estudada, aperfeiçoada e utilizada por grande parte da população mundial, a qual pode trazer inúmeros benefícios aos usuários (TOMAZZONI; NEGRELLE; CENTA, 2006).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o uso de plantas medicinais pela população mundial vem obtendo cada vez mais espaço, incentivado pela própria Organização, a qual acredita ser esta prática a principal opção terapêutica de aproximadamente 80% da população mundial (PINTO et al., 2002). Dentre as várias famílias de plantas medicinais, podem ser destacadas plantas com potencial biológico, como a família Asteraceae, que compreende, aproximadamente, 1500 gêneros e 2300 espécies (JUDD et al., 2009).

A família Asteraceae é conhecida pelas propriedades terapêuticas, cosméticas e aromáticas. Já é relatado na literatura o uso medicinal dessa família como antihelmíntico, antiinflamatório, adstringente, colestérico, antihemorrágico, antimicrobiano, diurético, analgésico e antiespasmódico (PORTILLO et al., 2001; ISCAN et al., 2006; ABAD & BERMEJO, 2007; BENEDEK, KOPP, MELZIG, 2007; JEON et al., 2008). Na constituição desta família, a composição química torna-se mais importante do que a morfologia devido à presença de várias classes de metabólitos secundários (EMERENCIANO et al., 1986).

Tendo em vista a diversa ação terapêutica atribuída à família, o presente trabalho tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico da composição química de espécies da família Asteraceae.

MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi baseado em um levantamento bibliográfico referente a trabalhos publicados, que segundo Gil (2008) é desenvolvido com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

O desenvolvimento da revisão bibliográfica dos artigos foi feito no Scientific Electronic Library Online (SciELO), optou-se pela pesquisa nesse portal por indexarem estudos avaliados por comitês científicos antes de sua publicação com dados de referência, confiáveis cientificamente e de fácil acesso para mapear o processo de desenvolvimento de publicações da temática. Os descritores utilizados foram “química asteraceae”. Os critérios de inclusão para posterior análise de dados foi que o texto estivesse em português, que falasse sobre fitoquímica de espécies da família e que fosse publicado entre os anos de 2010 a 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi encontrado vinte e nove artigos, um estava em inglês, dois não falava da fitoquímica e dezessete tinham mais de dez anos de publicação, resultando em apenas nove trabalhos. A partir dos dados coletados e da análise, as revistas que mais publicaram nos últimos anos sobre a família foram Revista Brasileira de Plantas Mediciniais e Química Nova, com três publicações cada uma, estas revistas publicam trabalhos originais em inglês e português a mais de vinte anos, dentre eles revisão bibliográficas.

Foram citadas dezesseis espécies distribuídas em doze gêneros (Tabela 1). As classes de compostos mencionadas para a família foram flavonoides, terpenos, taninos, alcaloides, esteroides, cumarinas, antraquinonas e saponinas e carotenoides.

AUTOR (ES)	REVISTA	ANO	ESPÉCIE (S)	COMPONENTE (S) QUÍMICO (S)
Albuquerque et al.	Revista Brasileira de Farmacognosia	2010	<i>Eupatorium ballotifolium</i> Kunth	Sesquiterpenos
Borella et al.	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais	2011	<i>Calendula officinalis</i> L.	Flavonoides
Dias et al.	Revista de Ciências Agrárias	2017	<i>Achillea millefolium</i> L.	Açúcares, ácidos orgânicos, tocoferóis e ácidos gordos majoritários
Fabri et al.	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais	2011	<i>Acanthospermum australe</i> (Loefl.) Kuntze, <i>Achillea millefolium</i> L., <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC. <i>Baccharis trimera</i> (Less.), <i>Eupatorium laevigatum</i> Lam., <i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S.F. Blake, <i>Matricaria chamomilla</i> L., <i>Taraxacum officinale</i> Weber, <i>Vernonia condensata</i> Baker, <i>Bidens segetum</i> Mart.	Flavonoides, taninos, alcaloides, triterpenos, esteroides, cumarinas, antraquinonas e Saponinas
Gomes et al.	Química Nova	2010	<i>Blainvillea rhomboidea</i> Cass.	Flavonoides
Machado et al.	Química nova	2013	<i>Vernonia scorpioides</i> (Lam) Pers.	Triterpenos, esteroides, um flavonoide, uma lactona poliacetilênica
Marques et al.	Química Nova	2013	<i>Bellis perennis</i> L.	Flavonoides
Moraes e Castanha	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais	2011	<i>Baccharis crispa</i> Spreng.	Flavonoides, lactonas diterpênicas, taninos, saponinas
Silva et al.	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais	2010	<i>Baccharis trimera</i> (Less.)	Globulol, guaiol, ledol e espatulenol, elta-cadineno

Tabela 1. Artigos publicados no SciELO sobre química de espécies da família Asteraceae de 2010 a 2020.

Albuquerque et al. (2010) trabalhando com óleos essenciais das partes aéreas obtidos das folhas e talos de *Eupatorium ballotifolium*, observou a presença predominante de sesquiterpenos e isolou onze substâncias, onde os principais constituintes dos óleos foram os sesquiterpenos β -cariofileno (24,9 e 22,2%), espatulenol (17,7 e 12,4%) e epóxi-*allo*-aromadendreno (23,0 e 23,6%).

Machado et al. (2013) estudando apenas uma espécie, *Vernonia scorpioides*, obteve na prospecção química dos extratos hexânico e etanólico das partes aéreas da espécie o isolamento de triterpenos, esteroides, um flavonoide, uma lactona poliacetilênica. Flavonoide foi encontrado nas espécies *Bellis perennis* (GOMES et al., 2010), *Blainvillea rhomboidea* (BORELLA et al., 2011) e *Calendula officinalis* (MARQUES et al., 2013).

Fabri et al. (2011) estudando a fitoquímica de dez espécies da família Asteraceae observou que maioria das espécies apresentou em sua composição compostos fenólicos como flavonoides (82%) e taninos (82%). Além desses, foram encontrados alcaloides (64%), triterpenos (36%), esteroides (64%), cumarinas (45%) e antraquinonas (27%), e que as saponinas foram identificadas somente no extrato das folhas de *Baccharis dracunculifolia* e *Acanthospermum australe*.

Moraes e castanha (2011) ao investigar a composição química do óleo essencial de duas populações do gênero *Baccharis* identificou dezenove compostos nestes óleos essenciais, os principais compostos encontrados foram trans-cariofileno (22,0 % e 18,1%), seguido por germacreno-D (7,0%), biciclogermacreno (8,5%), ledol (13,7%), espatulenol (13,8% e 20,7%) e óxido de cariofileno (8,3% e 12,0%). O autor relata que pela composição química apresentada a espécie vegetal possui grande indicativo de ser *B. crispa*.

A análise química cromatográfica do óleo essencial de ramos de carqueja *Baccharis trimera* mostrou compostos como globulol, guaiol, ledol e espatulenol, elta-cadineno (SILVA et al., 2010).

CONCLUSÃO

A análise da literatura aponta para a vasta diversidade de compostos químicos presentes nas espécies da família Asteraceae, o que reflete sua rica contribuição para o campo da farmacologia e terapias alternativas. Os flavonoides, identificados em grande parte das espécies estudadas, destacam-se pela sua relevância na atividade biológica, sendo amplamente reconhecidos por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. Além disso, outras classes de compostos como terpenos, alcaloides e taninos também desempenham papéis fundamentais nas propriedades terapêuticas associadas a essas plantas. É evidente que a composição química das espécies da família Asteraceae vai além de um interesse meramente botânico, oferecendo um importante potencial para o desenvolvimento de novos fármacos e tratamentos fitoterápicos. As pesquisas contínuas e o isolamento de compostos específicos, como os sesquiterpenos e triterpenos, não apenas expandem o conhecimento fitoquímico, mas também abrem caminhos para investigações mais aprofundadas sobre o uso clínico desses metabólitos. O levantamento bibliográfico realizado

reforça a importância de estudos contínuos sobre a família Asteraceae, evidenciando que sua contribuição para a ciência moderna vai além do uso tradicional em medicinas populares. O potencial terapêutico dessas espécies deve ser cada vez mais explorado, pois a descoberta de novos compostos e a comprovação de suas atividades biológicas poderão contribuir significativamente para a inovação no tratamento de diversas patologias.

REFERÊNCIAS

ABAD, M.J.; BERMEJO, P. *Baccharis* (Compositae): a review update. **Arkivoc**, v.7, p.76-96, 2007.

ALBUQUERQUE, M. R. J. R.; SANTOS, H. S. dos S.; SOUZA, E. B. de.; SILVA, R. M. da.; MENEZES, J. E. A.; PESSOA, O. D. L.; BRAZ-FILHO, R. COSTA, S. M. O. Composição química volátil e não-volátil de *Eupatorium ballotifolium* Kunth, Asteraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, n. 4, p. 615-620, Ago./Set. 2010.

ALVES, L.P.L.; DIAS, I.C.L.; NETO, M.S.; OLEA, R.S.G.; Contexto Histórico, Uso Popular e Concepção Científica sobre Plantas Medicinais. **Cadernos de Pesquisas** (UFMA). São Luís, v. 18, n. especial, dez. 2011. Disponível em< <http://www.periodico.seletronicos.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/746>>. Acesso em 01 out. 2020.

BENEDEK, B.; KOPP, B.; MELZIG, M.F. *Achillea millefolium* L. s.1.- Is the antiinflammatory activity mediated by protease inhibition? **Journal of Ethnopharmacology**, v.113, p. 321- 327, 2007.

BORELLA, J. C.; RIBEIRO, N. S.; FREATO, A. M. R.; MAZZO, K. F.; BARBOSA, D. M. Influência da adubação e da cobertura morta na produtividade e no teor de flavonóides de *Calendula officinalis* L. (Asteraceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.13, n.2, p.235-239, 2011.

DIAS, M.; BARROS, L.; CARVALHO, A. M., ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; FERREIRA, I. C.F.R. Caracterização química de amostras silvestres e comerciais de *Achillea millefolium* L. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, especial, p. 132-135, 2017.

EMERENCIANO, V.P. et al. Evolution of sesquiterpene lactones in Asteracea. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.14, n.6, p.585-9, 1986.

FABRI, R.L.; NOGUEIRA, M.S.; DUTRA, L.B.; BOUZADA, M.L.M.; SCIO, E. FIRMO, W. da C. A. MENEZES, V de. J. M.; PASSOS, C. E de. C.; DIAS, C.N.; Potencial antioxidante e antimicrobiano de espécies da família Asteraceae. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.13, n.2, p.183-189, 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, R. F.; SANTOS, H. S.; ALBUQUERQUE, M. R. J. R.; PESSOA, O. D. L.; LOFUTO, C.; Ó PESSOS, C.; MORAES, M. O.; ROFRIGUES, F. A. R. *Blainvillea rhomboidea*: constituintes químicos e atividade citotóxica. **Química Nova**, Vol. 33, No. 5, 1122-1125, 2010.

ISCAN, G. et al. Biological activity and composition of the essential oil of *Achillea schischkinii* Sosn. and *Achillea aleppica* DC. sbsp. *aleppica*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, p.170-173, 2006.

JEON, H.J. et al. Antiinflammatory activity of *Taraxacum officinale*. **Journal of Ethnopharmacology**, v.115, p.82-88, 2008.

JUDD, W. S.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J.; **Sistemática Vegetal: um enfoque filogenético**, Artmed: Porto Alegre, 2009.

LOYA, A.M.; GONZÁLEZ-STUART, A.; RIVERA, J.O.; Prevalence of polypharmacy, polyherbacy, nutritional supplement use and potential product interactions among older adults living on the United States-Mexico border: a descriptive questionnaire-based study. **Drugs & Aging**, v.26, n.5, p.423-436, 2009.

MACHADO, A. L.; ARAGÃO, F. M.; BANDEIRA, P. N.; SANTOS, H. S. dos.; ALBUQUERQUE, M. R. J. R.; PESSOA, O. D. L.; SILVEIRA, E. R.; NUNES, E. P.; BRAZ-FILHO, R. Constituintes químicos de *Vernonia scorpioides* (Lam) Pers. (Asteraceae). **Química Nova**, v. 36, No. 4, 540-543, 2013.

MARQUES, T. H. C.; SANTOS, P. S.; FREITAS, R. M.; CARVALHO, R. B. F.; MELO, C. H. S. de.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M.; LIMA, L. S. Atividade anticolinesterásica e perfil químico de uma fração cromatográfica ativa do extrato etanólico das flores *Bellis perennis* L. (Asteraceae). **Química Nova**, v. 36, n. 4, p. 549-553, 2013.

MORAIS, L. A. S.; CASTANHA, R. F. Composição química do óleo essencial de duas amostras de carqueja (*Baccharis* sp.) coletadas em Paty do Alferes – Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.13, especial, p.628-632, 2011.

PINTO, C.A. et al. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Química Nova**, v.25, p.45-61, 2002.

PORTILLO, A. et al. Antifungal activity of Paraguayan plants used in traditional medicine. **Journal of Ethnopharmacology**, v.76, p.93-8, 2001.

SILVA, F. G.; NASCIMENTO, V. E.; PINTO, J. E. B. P.; OLIVEIRA, C. B. A.; SANTOS, M. R.; FERRI, P. H. Influência do processamento pós-colheita e armazenamento na composição química da droga vegetal e do óleo essencial de carqueja [*Baccharis trimera* (Less.) DC.]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.12, n.4, p.436-442, 2010.

TOMAZZONI, M.I.; NEGRELLE, R.R.B.; CENTA, M.L. Fitoterapia popular: a busca instrumental enquanto prática terapêutica. **Texto & Contexto Enfermagem**, v.15, n.1, p.115-21, 2006.

POTENTIAL CASCADE EFFECTS OF COMPETITION ON BIOLOGICAL CONTROL OF INSECTS HERBIVORES

Data de submissão: 25/09/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Leandra de Oliveira Costa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/0416183661318756>
<https://orcid.org/0000-0002-6673-1071>

Christian Sherley Araújo da Silva-Torres

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia Recife-PE
<https://lattes.cnpq.br/6987761145766931>
<https://orcid.org/0000-0002-2364-5421>

alter the behavior of natural enemies, such as foraging, predation, and parasitism rates, which in turn will affect pest populations. In some situations, competition between natural enemies may lead to pest resurgence, due to mutual interference of biocontrol agents and a lack of efficient pest control. In others, competition can have a synergistic effect in pest control, in which multiple natural enemy actions add up to a complimentary biological control, increasing its final effect on pest populations. The understanding and adequate management of competition effects in the habitat is essential to guarantee efficient and sustainable pest control.

KEYWORDS: Parasitoids, predators, population regulation, resource availability

ABSTRACT: In natural ecosystems, many insect species can interact in different ways. Herbivore insects can compete for host plants, shelter, mating, and oviposition sites. Additionally, natural enemies can compete for their herbivore prey (food) or host (development) in the same habitat. Therefore, competition can regulate the populations of herbivore insects, which can be important pests, and their respective natural enemies. Competition can affect the efficacy of biological control strategies. Competition for resources (prey/host) will reduce its access to at least one of the competing species. Also, competition can

INTRODUCTION

Competition in natural enemies

Plants constitute the first trophic level in nature, and their abundance can be regulated by abiotic (e.g., climate conditions, water availability, and soil properties) and biotic (e.g., pathogens, herbivores) factors. In turn, herbivore insects use host plants as food sources, shelter, sexual encounters, oviposition, and development sites (SCHOONHOVEN et al., 2005). Thus, insects that use the same plant as hosts will establish intrinsic relationships, sometimes complex ones, that are affected by biotic and abiotic factors (SCHOONHOVEN et al., 1998). Those interactions among herbivores can be either obligatory or facultative (SHARMA et al., 2021) and depend on the availability of resources and species involved. Interactions can vary in a gradient of positive to neutral to negative effects between species involved, such as mutualism (+,+), amensalism (0,-), commensalism (0,+), and competition (-,-) (ODUM; BARRETT, 2007, BRONSTEIN, 2015). Among these ecological interactions, the competition is characterized by the struggle between two or more organisms for the same resources within a habitat (FIELD; CALBERT, 1998, BATCHELOR et al., 2005, MAYFIELD; LEVINE 2010, ODE et al., 2022). Thus, one possible result of the competition is negative effects (e.g., reduction in fecundity and survival) for both organisms involved due to less availability sharing of resources. It is ubiquitous to have highly asymmetric competition in nature, in which one species involved suffers negative effects, whereas the other does not (PAINE, 1966, KRAAIJEVELD; GODFRAY, 1997, KAPLAN; DENNO, 2007, LAWTON; STRONG, 1981, JARRIGE et al., 2016).

Regarding the top-down effect on insect herbivore populations, natural enemies will keep their prey/host populations in check. It means that the third trophic level (e.g., predators, parasitoids, and pathogens) would help to regulate the population growth of insect herbivores through interactions of consumption (predation) or parasitism (PRICE et al., 1980). In turn, natural enemies compete for resources (e.g., prey/host and shelter). Therefore, they are subjected to similar effects of competition that lower trophic levels are.

Competition among natural enemies can occur within the species, also known as intraspecific, when individuals of the same species of predators (e.g., cannibalism) or parasitoids (e.g., superparasitism) compete for the same prey/host in the habitat (ODE et al., 2022). The possible outcome of intraspecific competition is the reduction of predation or parasitism effectiveness due to cannibalism, superparasitism, or resource depletion. In addition, competition can occur between natural enemy species, also known as interspecific competition for the same prey/host. The possible outcomes are competitive displacement/exclusion, in which one species becomes dominant in the habitat and displaces the other, or coexistence, where both species can coexist if they occupy different niches (HARVEY et al., 2013).

Regarding how the resource is shared/used by the competing species, natural enemy competition can be further classified as scramble competition and contest competition (STERCK et al., 1997, VAN SHAIK 1989). In the scramble (e.g., exploitation) competition scenario, the resource (prey/host) is accessible to all species competing (none monopolizes it). In other words, it occurs when different species of natural enemies exploit the same resource, which is finite and shared equally amongst the competitor species. It causes a reduction in the resource availability for all species involved. Competitors interact undirectly, responding to the levels of resources that were reduced by activities of the other competitors. The shared exploitation of prey/host could lead to a faster depletion of resources available, affecting the survival and reproduction of natural enemy species that depend on that resource. In extreme cases, all species involved would die because none would obtain the amount of resources it needs (PRASAD, 2022).

This type of competition is frequent in ecosystems where the resources are distributed more evenly and spread, reducing the frequency of direct interactions between competitors (DENNO et al., 1995; MA et al., 2009). Also, some species of exotic lady beetles can adapt to new habitats, compete with native species for local prey, and cause a reduction in prey availability, resulting in smaller populations of native lady beetle populations (EVANS et al., 2011). For instance, the lady beetle *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae) caused a reduction of biodiversity of different native species worldwide after introduction, such as in Michigan (USA) with the displacement of *Cycloneda munda* (Say), *Coleomegilla maculata* (DeGeer), *Brachiacantha ursina* (F.) e *Chilocorus stigma* (Say) (COLUNGA-GARCIA; GAGE, 1998; BHALAI et al., 2015; ROY et al., 2016; CAMACHO-CERVANTES et al., 2017; ZAVIEZO et al., 2019).

In the contest (interference) competition between natural enemies, there is direct physical interaction between competitors to secure the resources. In this case, there will be a winner and a loser, and resources can be conquered totally or not at all (ODE et al., 2022). Each successful species obtains all the resources it requires for survival or reproduction. It is common when resources (prey/hosts) are stable in the habitat. In some parasitoid species, it is possible to find individuals that interact directly to get the host with aggressive behaviors towards other competitors, such as bites, stings, and kicks (HARDY et al., 2013). Female parasitoids of Mymaridae, Bethyliidae, and Scelionidae show parental care and interference competition, in which females fight for and protect parasitized hosts. They may attack and kill competing females of the same (superparasitism) or different species (multiple parasitisms) that try to oviposit in the same host and guard the host until progeny emergence (HARDY; BLACKBURN, 1991; PÉREZ-LACHAUD et al., 2002; PÉREZ-LACHAUD et al., 2004).

Influence of natural enemies competition on community structure

Competition is considered one of the major biotic factors modulating distribution, abundance, and diversity in multispecies communities (BARABÁS et al., 2016). Its importance relies on the fact that competition (intra- and inter-) regulates niche size and occupancy, the evolution of life history traits, and functions in ecological communities. In such communities, natural enemies are fundamental regulators of prey/host populations through direct and indirect interactions (GUILLER et al., 2012; COURBAUD et al., 2012). As they compete for a shared resource, the intensity of selection pressure increases and some natural enemy species are favored against others (KAPLAN; DENNO, 2007; GAO; REITZ, 2017). In addition, the selection pressure among natural enemies may affect their behavior to avoid potential competition (KOIVISTO et al., 2016, MUELLER et al., 2016). For instance, predatory beetles of the genus *Pterostichus* (Coleoptera: Carabidae) avoid territories where ants *Formica polyctena* (Foerst.) (Hymenoptera: Formicidae) are present. Authors observed that beetles changed their walking path when attacked directly by the ants, increased their walking speed, and reduced the number and time of stops to avoid competition (REZNIKOVA; DOROSHEVA, 2004). Additionally, some species adapt to use varied resources or the same resource in different ways, which is known as niche partition (BONSALL et al., 2002, MESZÉNA et al., 2006, KALMYKOV; KALMYKOV, 2013). For instance, parasitoids that attack the same host can show behaviors to avoid competition, as follows: i) parasitize specific host developmental stages, ii) explore different microhabitats, and iii) temporal separation, in which parasitism can occur in different hours of the day (YAMAMOTO et al., 2007; FLEURY et al., 2009; HACKETT-JONES et al., 2009). This partition reduces the intensity of direct competition, allowing the coexistence of different natural enemy species in the multispecies community.

Competition between natural enemies can also affect the population dynamic of prey/hosts. When two different prey or host species share the same natural enemy, they can affect each other's presence by the population density of the natural enemy. This phenomenon is known as apparent competition, similar to competition for resources, and could lead to the exclusion of the prey or host species (HOLT, 1977; HOLT; LAWTON, 1993; HOLT et al., 1994). In the same way that two species of natural enemies could not coexist exploring exactly the same resource, it is expected that two host/prey species could not coexist if they share the natural enemy species in the same habitat. Moreover, competition displacement or exclusion is not exclusive of prey/hosts, parasitoids and predators can also be eliminated from the environment by displacement (BRODEUR; ROSENHEIM, 2000). This can result when one natural enemy species is more efficient in using resources than the other, depleting or using the resource completely to the detriment of the competitor. Therefore, competitive exclusion can reduce the diversity of natural enemies in the ecosystem, hence the population abundance and diversity of prey/hosts in the same habitat (HOLT; BONSALL, 2017).

Insect parasitoids develop in/on the host. Occasionally, parasitoids can feed on hosts (WAAGE; HASSELL, 1982; KIDD; JERVIS, 1991). For this reason, they are considered as eventual predators. In turn, parasitized hosts can be attacked by other predators of the same host (prey), known as intraguild predation (ROSENHEIM et al., 1995). This is a combination of predation and competition, as different natural enemy species competing for the same resource attack each other. In addition, when one host is attacked simultaneously by multiple parasitoid species, the developing larvae can attack and consume one another, with the survival of the best competitor under those circumstances. Some factors affecting the outcome of multiple parasitism competition are host developmental stage, age, and aggressive behavior of parasitoid larvae (HARVEY et al., 2013, THIERRY et al., 2022). Thus, the interactions between natural enemies (e.g. predator-predator, predator-parasitoid, parasitoid-parasitoid) can compromise the efficacy of biological control, as it may cause a reduction in parasitism or predation rate of the target pest species (POLIS et al., 1989; DIXON, 2000; HEMPTINNE et al., 2012, FRAGO, 2016).

TOP-DOWN AND BOTTOM-UP EFFECTS AS REGULATORS OF POPULATIONS

Besides competition, other interactions are major forces regulating the distribution and abundance of species in habitats. The top-down and bottom-up effects explain how different trophic levels (within the food chain) regulate insect herbivores, parasitoids, and predator populations (HUNTER; PRICE, 1992).

The top-down effect occurs when higher trophic levels exert pressure on lower levels. Generally, it involves predator-prey interactions exerted by natural enemies on herbivore populations through tri-trophic interactions, and it affects the structure and dynamics of organisms in the same ecosystem. The top-down effect is important to prevent herbivore population peaks, reaching threshold levels, and crop yield loss. Thus, predators and parasitoids have a role in maintaining ecological equilibrium in the habitats (COCO et al., 2022). In addition to the pressure exerted by the higher trophic levels on herbivore populations due to direct consumption, there is another possible way the *top-down* effect interferes with herbivore populations, also known as “trophic cascade”. It occurs when variations in population densities of higher trophic levels (natural enemy species) cause an indirect impact on herbivore populations (BRODIE et al., 2014; RIPPLE et al., 2016). For instance, one natural enemy species is excluded due to intraguild predation or invasion of an exotic species, and this can either increase or release pressure on herbivore populations below. Moreover, this cascades down on plant community composition and structure in the same ecosystem (KINDLMANN et al., 2011).

In contrast, the *bottom-up* effect refers to the impact of lower trophic levels (plant community) on higher trophic levels (herbivores and natural enemy populations). In this context, plants depend on abiotic factors such as water, light, and soil nutrients to grow and reproduce; hence, plant biomass will be available to sustain herbivore populations. When plant productivity increases, herbivore populations have more food available and can expand, and this can also relay to higher trophic levels, as more host/prey is available to predators and parasitoids (HAN et al., 2022). In ecosystems where plant community (abundance and diversity) availability is low, there is restriction in the population growth of higher trophic levels (herbivores and their natural enemies) due to lack of resources (HAN et al., 2020, BLUNDELL et al., 2020).

Resource nutritional quality is also an important factor of the *bottom-up* effect modulating community structure. For instance, low-nutrition value plants or rich in defense compounds (e. g. alkaloids, glucosinolates, terpenoids, and tannins) can have a direct impact and restrict herbivore population growth, regardless of the top-down pressure exerted by predators (MITHOFER; BOLAND 2012; HAN et al., 2022). In this sense, isoprene can reduce feeding by *Manduca sexta* (L.) but not by *Pieris rapae* (L.) and *Plutella xylostella* (L.). In contrast, *M. sexta* is not affected by nicotine in tobacco plants (LAOTHAWORNKITKUL et al., 2008; LOIVAMAKI et al., 2008). Thus, the effect of plant nutritional value will depend on the species of insect herbivores feeding on those plants. For herbivore species negatively affected by plant quality, this effect can relay up to higher trophic levels (predators and parasitoids) by reduction of prey/host available for natural enemies. In contrast, herbivore species adapted to toxic plant compounds may sequester plant toxins, and toxicity can be conveyed to higher levels, negatively affecting natural enemy populations, in turn, relaxing the pressure on herbivore populations (FÜRSTENBERG-HÄGG et al., 2013).

Finally, another important factor that can affect community structure is human agriculture activity. Farming promotes rapid habitat transformation due to human fragmentation of land to produce crops. In this case, humans are key agents disrupting the natural equilibrium in habitats, altering the abundance and distribution of plants, herbivores, and natural enemy species in the area, affecting the *top-down* and *bottom-up* effects (BANSE, 2007; HOPCRAFT et al., 2010; ESTES et al., 2011).

POSITIVE EFFECTS OF COMPETITION

Up until now, we have enumerated a list of possible negative effects of competition on community structure and biological control in previous sections. For instance, when there is multiple parasitism or superparasitism on the same host, we could have a reduction in the population of both parasitoid species. Therefore, the efficacy of either parasitoid species is compromised, leading to a reduction in pest control, and the pest population could reach levels higher than that subjected to suppression of only one parasitoid species (MAY; HASSELL, 1981; COMINS; HASSELL, 1996; BONSALE; HASSELL, 1999). In contrast, there are specific circumstances where competition interactions may have positive effects, suppressing herbivore populations, and species may coexist in the same habitat.

Different species can act together in a broad sense as population control agents. For instance, the occurrence of many natural enemies competing for the same resources in a crop field would, in theory, increase the number of prey consumed or hosts parasitized, which could reflect in more efficient and broad pest control. Even if one of the natural enemy species (predator or parasitoid) involved is less efficient, the presence of the other species could mitigate this limitation, securing the pressure upon the herbivore population and avoiding pest population threshold levels. But, for this to work, it depends on the species and life stages of the insects involved (LAW; ROSENHEIM, 2011; TAKIZAWA; SNYDER, 2011). An example of broad-sense pest control and the coexistence of different natural enemy species is in some brassica crops infested by the cabbage root fly *Delia radicum* (L.). Young larvae of *D. radicum* are parasitized by the specialist parasitoid *Trybliographa rapae* (Westw.), and pupae are preferred by the beetle *Aleochara bilineata* (Gyllenhal). Beetles can also attack eggs of the pest (READER; JONES, 1990). Thus, niche partitioning and multiple natural enemies contribute to this pest control in brassica crops.

Another potential positive point of competition is that it could favor natural selection and stimulate adaptation, which in turn can favor niche diversification, as noted in a previous section of this chapter. It would induce sympatric species to evolve and explore the same resources differently (ACKERMANN; DOEBELI, 2004). The evolution of adaptive traits would increase the efficacy in prey capture, host parasitism, and natural enemy survival under adverse conditions. Adaptations could involve changes in foraging behavior and physiology, leading to more specialized natural enemies over time. Niche diversification would reduce the intensity of direct competition and allow the coexistence of multiple natural enemies in the community (ROBINSON; PFENNING, 2013).

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, M., DOEBELI, M. **Evolution of niche width and adaptive diversification.** *Evolution*, v. 58, p. 2599-2612, 2004.
- BAHLAI, C.A., COLUNGA-GARCIA, M., GAGE, S.H., LANDIS, D.A. **The role of exotic ladybeetles in the decline of native ladybeetle populations: evidence from long-term monitoring.** *Biological Invasions*, v.17, p. 005-1024. 2015.
- BANSE, K. **Do we live in a largely top-down regulated world?** *Journal of Biosciences*, v. 32, p. 791–796, 2007.
- BARABÁS, G., J. MICHALSKA-SMITH, M., & ALLESINA, S. **The effect of intra-and interspecific competition on coexistence in multispecies communities.** *The American Naturalist*, v. 188, p. E1-E12, 2016.
- BATCHELOR, T.P., HARDY, I.C., BARRERA, J.F., PÉREZ-LACHAUD, G. **Insect gladiators II: competitive interactions within and between bethylid parasitoid species of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae).** *Biological Control*, v. 33, p. 194-202, 2005.

- BRODEUR, J., ROSENHEIM, J.A. **Intraguild interactions in aphid parasitoids.** *Entomologia experimentalis et applicata*, v. 97, p. 93-108, 2000.
- BONSALL, M.B., HASSELL, M.P. **Parasitoid-mediated effects: apparent competition and the persistence of host–parasitoid assemblages.** *Researches on Population Ecology*, v. 41, p. 59-68, 1999.
- BONSALL, M.A., HASSELL, M.P., and ASEFA, G. **Ecological trade-offs, resource partitioning, and coexistence in a host-parasitoid assemblage.** *Ecology*, v. 83, p. 925–934. 2002.
- BRODIE, J.F., ASLAN, C.E., ROGERS, H.S., REDFORD, K.H., MARON, J.L., BRONSTEIN, J.L. et al. **Secondary extinctions of biodiversity.** *Trends in Ecology & Evolution*, v.29, p.664–672, 2014.
- BRONSTEIN, J.L. **The study of mutualism**, p. 3-19. In J.L. Bronstein (eds.), *Mutualism*. New York, Oxford Univ. Press, 2015, 315p.
- BLUNDELL, R., SCHMIDT, J.E., IGWE, A., CHEUNG, A.L., VANNETTE, R.L., GAUDIN, A.C., CASTEEL, C.L. **Organic management promotes natural pest control through altered plant resistance to insects.** *Nature Plants* v. 6, p. 483–91, 2020.
- CAMACHO-CERVANTES, M., ORTEGA-ITURRIAGA, A., DEL-VAL, E. **From effective biocontrol agent to successful invader: the harlequin ladybird (*Harmonia axyridis*) as an example of good ideas that could go wrong.** *PeerJ*, v.5, p.3296, 2017.
- COCO, A.M., YIP, E.C., KAPLAN, I., J.F. TOOKER. **More phylogenetically diverse polycultures inconsistently suppress insect herbivore populations.** *Oecologia*, v. 198, p. 1057–1072, 2022.
- COLUNGA-GARCIA, M., GAGE, S.H. **Arrival, establishment, and habitat use of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) in a Michigan landscape.** *Environmental Entomology*, v. 27, p. 1574-1580, 1998.
- COMINS, H.A., HASSELL, M.P. **Persistence of multispecies host–parasitoid interactions in spatially distributed models with local dispersal.** *Journal of theoretical Biology*, v. 183, p. 19-28, 1996.
- COURBAUD, B., VIEILLEDENT, G., KUNSTLER, G. **Intra-specific variability and the competition–colonisation trade-off: coexistence, abundance and stability patterns.** *Theoretical Ecology*, v. 5, p. 61-71, 2012.
- DENNO R.F., MCCLURE M.S., OTT J.R. **Interspecific interactions in phytophagous insects: competition reexamined and resurrected.** *Annu Rev Entomol* v. 40, p. 297–331, 1995.
- DIXON, A.F.G. **Insect predator-prey dynamics: ladybird beetles and biological control.** Cambridge University Press, 86p. 2000.
- ESTES, J.A., J. TERBORGH, J.S. BRASHARES, M.E. POWER, J. BERGER, W.J. BOND, S.R. CARPENTER, T.E. ESSINGTON, R.D. HOLT, J.B.C. JACKSON. **Trophic downgrading of planet earth.** *Science*, v. 333, p. 301–306, 2011.
- EVANS, E.W., SOARES, A.O., YASUDA, H. **Invasions by ladybugs, ladybirds, and other predatory beetles.** *BioControl*, v. 56, p. 597–611, 2011.

- FRAGO, E. **Interactions between parasitoids and higher order natural enemies: intraguild predation and hyperparasitoids.** *Current Opinion in Insect Science*, v. 14, p. 81-86, 2016.
- FIELD, S.A., CALBERT, G. **Patch defence in the parasitoid wasp *Trissolcus basal*: when to begin fighting?** *Behaviour* v. 135, p. 629–42, 1998.
- FÜRSTENBERG-HÄGG, J., M. ZAGROBELNY, M., BAK, S. **Plant defense against insect herbivores.** *International journal of molecular sciences*, v. 14, p. 10242-10297, 2013.
- GAO, Y.L., REITZ, S.R. **Emerging themes in our understanding of species displacements.** *Annual Review of Entomology*, v. 62, p. 165–183, 2017.
- GILLER, P. **Community structure and the niche.** Springer Science & Business Media, 176p. 2012.
- HARDY, I.C., BLACKBURN, T.M. **Brood guarding in a bethylid wasp.** *Ecological Entomology*, v. 16, p. 55-62, 1991.
- HARDY, I.C.W., M. GOUBAULT & T.P. BATCHELOR. **Hymenopteran contests and agonistic behaviour.** p. 147-177. In I.C.W. Hardy & M. Briffa (eds.), *Animal Contests*. Cambridge University Press, 2013, 379p.
- HARVEY, J.A., POELMAN, E.H., TANAKA, T. **Intrinsic inter- and intraspecific competition in parasitoid wasps.** *Annual Review of Entomology*, v. 58, p. 333–51, 2013.
- HARVEY, J.A., POELMAN, E.H., TANAKA, T. **Intrinsic inter-and intraspecific competition in parasitoid wasps.** *Annual review of entomology*, v. 58, p. 333-351, 2013.
- HACKETT-JONES, E., COBBOLD, C., WHITE, A. **Coexistence of multiple parasitoids on a single host due to differences in parasitoid phenology.** *Theoretical Ecology*. v. 2, p. 19–31, 2009.
- HAN, P., BECKER, C., LE BOT, J., LARBAT, R., LAVOIR, A. V., DESNEUX, N. **Plant nutrient supply alters the magnitude of indirect interactions between insect herbivores: From foliar chemistry to community dynamics.** *Journal of Ecology*, v. 108, p. 1497-1510, 2020.
- HAN, P., LAVOIR, A.V., RODRIGUEZ-SAONA, C., DESNEUX, N. **Bottom-up forces in agroecosystems and their potential impact on arthropod pest management.** *Annual Review of Entomology*, v. 67, p. 239-259, 2022.
- HEMPTINNE, J.L., MAGRO, A., SALADIN, C., DIXON, A.F.G. **Role of intraguild predation in aphidophagous guilds.** *Journal of Applied Entomology*, v. 136, p. 161-170, 2012.
- HOLT, R.D., BONSALL, M.B. **Apparent competition.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 48, p. 447-471, 2017.
- HOLT, R.D. **Predation, apparent competition, and the structure of prey communities.** *Theoretical Population Biology*, v. 12, p. 197–229, 1977.
- HOLT RD, LAWTON JH. **Apparent competition and enemy-free space in insect host-parasitoid communities.** *Am Nat*, v. 142, p. 623–645, 1993.
 - HOLT, R.D., LAWTON, J.H. **The ecological consequences of shared natural enemies.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 25, p. 495–520, 1994.

- HOPCRAFT, J.G.C., OLFF, H., SINCLAIR, A.R.E. 2010. **Herbivores, resources and risks: Alternating regulation along primary environmental gradients in savannas.** TREE, v. 25, p. 119–128, 2010.
- HUNTER MD., PRICE PW. **Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities.** Ecology, v. 73, p.724–32, 1992.
- JARRIGE A., KASSIS, A., SCHMOLL, T., GOUBAULT, M. **Recently mated males of a lek-mating insect intensify precopulatory mate guarding under male competition.** Animal Behaviour, v. 117, p. 21–34, 2016.
- KAPLAN, I., DENNO, R.F. **Interspecific interactions in phytophagous insects revisited: a quantitative assessment of competition theory.** Ecology Letters, v. 10, p. 977–94, 2007.
- KALMYKOV, L.V., KALMYKOV, V.L. **Verification and reformulation of the competitive exclusion principle.** Chaos Soliton Fract. v. 56, p.124–131, 2013
- KIDD, N.A.C., JERVIS, M.A. **Host-feeding and oviposition strategies of parasitoids in relation to host stage.** Researches on Population Ecology, v. 33, p. 13-28, 1991.
- KINDLMANN, P., AMEIXA, O.M., & DIXON, A.F. **Ecological effects of invasive alien species on native communities, with particular emphasis on the interactions between aphids and ladybirds.** BioControl, v. 56, p. 469-476, 2011.
- KRAAIJEVELD, A.R., GODFRAY, H.C.J. **Trade-off between parasitoid resistance and larval competitive ability in *Drosophila melanogaster*.** Nature, v. 389, n. 6648, p. 278-280, 1997.
- KOIVISTO, E., HOSET, K.S., LE TORTOREC, A.H., NORRDAHL, K., KORPIMAKI, E. **Mobility of a small mammalian predator changes according to the activity patterns of potential intraguild predators.** Journal Zoology, v. 298, p. 121-127, 2013.
- LAOTHAWORNKITKUL, J., PAUL, N.D., VICKERS, C.E., POSSELL, M., TAYLOR, J.E., MULLINEAUX, P.M., HEWITT, C.N. **Isoprene emissions influence herbivore-feeding decisions.** Plant, cell & environment, v.31, p. 1410–1415, 2008.
- LAWTON, J.H., STRONG Jr, D.R. **Community patterns and competition in folivorous insects.** The American Naturalist, v. 118, p. 317-338, 1981.
- LAW, Y.H., ROSENHEIM, J.A. **Effects of combining an intraguild predator with a cannibalistic intermediate predator on a species-level trophic cascade.** Ecology, v. 92, p. 333-341, 2011.
- LOIVAMAKI, M., MUMM, R., DICKE, M., SCHNITZLER, J.P. **Isoprene interferes with the attraction of body- guards by herbaceous plants.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 105, p. 17430–17435, 2008.
- MA J., LIN, J.T., CHEN, H.J., HU, X.N. **The potential role of interspecific competition in fruit fly invasions.** J Environ Entomol v. 31, p. 361–364, 2009.
- MAY, R.M., HASSELL, M.P. **The dynamics of multiparasitoid-host interactions.** The American Naturalist, v. 117, p. 234-261, 1981.

- MAYFIELD, M.M., LEVINE, J.M. **Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities.** *Ecology Letters*, v. 13, p. 1085-1093, 2010.
- MESZÉNA, G., GYLLENBERG, M., PÁSZTOR, L., METZ, J.A.J. **Competitive exclusion and limiting similarity: a unified theory.** *Theoretical Population Biology*, v. 69, p. 68–87, 2006.
- MITHÖFER, A., & BOLAND, W. **Plant defense against herbivores: chemical aspects.** *Annual review of plant biology*, v. 63(1), p.431-450, 2012.
- MUELLER, A.K., CHAKAROV, N., HESEKER, H., KRUGER, O. **Intraguild predation leads to cascading effects on habitat choice, behaviour and reproductive performance.** *J. Anim. Ecol.*, v. 85, p. 774-784, 2013.
- ODE, P.J., VYAS, D.K., HARVEY, J.A. **Extrinsic inter-and intraspecific competition in parasitoid wasps.** *Annual Review of Entomology*, v. 67, p. 305-328, 2022.
- ODUM, E.P., BARRETT, G.W. **Fundamentos de ecologia.** São Paulo: Cengage Learning, 632p. 2007
- PAINE, R.T. **Food web complexity and species diversity.** *The American Naturalist*, v. 100, p. 65-75, 1966.
- PÉREZ-LACHAUD, G., HARDY ICW, LACHAUD J-P. **Insect gladiators: competitive interactions between three species of bethylid wasps attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae).** *Biological Control*, v. 25, p. 231–38, 2002.
- PÉREZ-LACHAUD G., BATCHELOR T.P., HARDY I.C.W. **Wasp eat wasp: facultative hyperparasitism and intra-guild predation by bethylid wasps.** *Biological Control*, v. 30, p. 149–55, 2004.
- POLIS, G.A., MYERS, C.A., HOLT, R.D. **The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other.** *Annual review of ecology and systematics*, v. 20, p. 297-330, 1989.
- PRASAD, K.H. **Community Structure.** p. 125-161. In K.H. Prasad (eds.). *Insect Ecology: Concepts to Management.* Singapore: Springer Nature Singapore, 228p. 2022.
- PRICE, P.W., BOUTON, C.E., GROSS, P., MCPHERON, B.A., THOMPSON, J.N., WEIS, A.E. **Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies.** *Annual review of Ecology and Systematics*, v. 11, p. 41-65, 1980.
- READER, P.M., JONES, T.H. **Interactions between an eucoilid [Hymenoptera] and a staphylinid [Coleoptera] parasitoid of the cabbage root fly.** *Entomophaga*, v. 35, p. 241-246, 1990.
- REZNIKOVA, Z.; DOROSHEVA, H. **Impacts of red wood ants *Formica polyctena* on the spatial distribution and behavioural patterns of ground beetles (Carabidae).** *Pedobiologia*, v. 48, p.15-21, 2004.
- RIPPLE, W.J., ESTES, J.A., SCHMITZ, O.J., CONSTANT, V., KAYLOR, M.J., LENZ, A., MOTLEY, J.L., SELF, K.E., TAYLOR, D.S., SHOW LESS. **What is a trophic cascade?** *Trends in Ecology & Evolution*, v. 31, p. 842–849, 2016.
- ROBINSON, B.W., PFENNIG, D.W. **Inducible competitors and adaptive diversification.** *Current Zoology*, v. 59, p. 537-552, 2013.

- ROSENHEIM, J.A., KAYA, H.K., EHLE, L.E., MAROIS, J.J., JAFFEE, B.A. **Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence.** *Biological control*, v. 5, p. 303-335, 1995.
- ROY, H.E., BROWN, P.M.J., ADRIAENS, T., BERKVEN, N., BORGES, I., CLUSELLA-TRULLAS, S., COMONT, R.F., DE CLERCQ, P., ESCHEN, R., ESTOUP, A., EVANS, E.W., FACON, B., GARDINER, M.M., GIL, A., GREZ, A.A., GUILLEMAUD, T., HAELEWATERS, D., HERZ, A., HONEK, A., HOWE, A.G., HUI, C., HUTCHISON, W.D., KENIS, M., KOCH, R.L., KULFAN, J., HANDLEY, L.L., LOMBAERT, E., LOOMANS, A., LOSEY, J., LUKASHUK, A.O., MAES, D., MAGRO, A., MURRAY, K.M., MARTIN, G.S., MARTINKOVA, Z., MINNAAR, I.A., NEDVED, O., ORLOVA-BIENKOWSKAJA, M.J., OSAWA, N., RABITSCH, W., RAVN, H.P., RONDONI, G., RORKE, S.L., RYNDEVICH, S.K., SAETHRE, M.G., SLOGGETT, J.J., SOARES, A.O., STALS, R., TINSLEY, M.C., VANDEREYCKEN, A., VAN WIELINK, P., VIGLÁŠOVÁ, S., ZACH, P., ZAKHAROV, I.A., ZAVIEZO, T., ZHAO, Z. **The harlequin ladybird, *Harmonia axyridis*: global perspectives on invasion history and ecology.** *Biological Invasions*, v. 18, p. 997–1044, 2016.
- SCHOONHOVEN, L.M., JERMY, T., VAN LOON, J.J.A. **Insects and plants: how to apply our knowledge.** p. 343–365. In L.M. Schoonhoven, T. Jermy & J.J.A. van Loon (eds.), *Insect-plant biology: From physiology to evolution*, Springer US, 1998, 409p.
- SCHOONHOVEN, L.M., VAN LOON, J.J.A., DICKE, M. **Insect plant biology**, 2nd ed. Oxford University Press, 421p. 2005.
- SHARMA, G., MALTHANKAR, P.A., MATHUR, V. **Insect–plant interactions: a multilayered relationship.** *Annals of entomology*, v. 114, p. 1-16, 2021.
- STERCK, E.H.M., WATTS, D.P., VAN SCHAİK, C.P. **The evolution of female social relationships in nonhuman primates.** *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 41, p. 291–309, 1997.
- THIERRY, M., PARDIKES, N.A., ROSENBAUM, B., XIMÉNEZ-EMBÚN, M.G., HRČEK, J. **The presence of multiple parasitoids decreases host survival under warming, but parasitoid performance also decreases.** *Proceedings of the Royal Society B*, v. 289, p. 20220121, 2022.
- TAKIZAWA, T., SNYDER, W.E. **Cannibalism and intraguild predation of eggs within a diverse predator assemblage.** *Environmental Entomology*, v. 40, p. 8-14, 2011.
- VAN SCHAİK, C.P. **The ecology of social relationships amongst female primates.** In V. Standen, & R.A. Foley (eds.), *Comparative Socioecology: The behavioural ecology of humans and other mammals* (p. 195–218). Oxford: Blackwell, 1989.
- WAAGE, J.K., HASSELL, M.P. **Parasitoids as biological control agents—a fundamental approach.** *Parasitology*, v. 84, p. 241-268, 1982.
- YAMAMOTO, D., HENDERSON, R., CORLEY, L.S., IWABUCHI, K. **Intrinsic, inter-specific competition between egg, egg-larval, and larval parasitoids of plusiine loopers.** *Ecological Entomology*, v. 32, p. 221–228, 2007.
- ZAVIEZO, T., SOARES, A.O., GREZ, A.A. **Interspecific exploitative competition between *Harmonia axyridis* and other coccinellids is stronger than intraspecific competition.** *Biological Control*, v. 131, p. 62-68. 2019.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA DE *Rhizophora mangle* COMO CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DINÂMICA DO MANGUEZAL DE MANGUE SECO, MUNICÍPIO DE RAPOSA, MARANHÃO

Data de submissão: 15/10/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Lays Rodrigues Silva Santos

Universidade Federal do Maranhão,
Departamento de Oceanografia e
Limnologia, São Luís - Maranhão

Jade Vilas Boas de Oliveira Lima

Universidade Federal do Maranhão,
Departamento de Oceanografia e
Limnologia, São Luís - Maranhão
<https://orcid.org/0009-0007-5806-7397>

José Magno Pinheiro Alves

Universidade Federal do Maranhão,
Departamento de Oceanografia e
Limnologia, São Luís – Maranhão
<https://orcid.org/0009-0003-7212-4870>

Deuzanir da Conceição Amorim Lima

Mestrado em Geografia, Natureza e
Dinâmica do Espaço, Universidade
Estadual do Maranhão
São Luís - Maranhão
<https://orcid.org/0009-0009-8432-5016>

Flávia Rebelo Mochel

Universidade Federal do Maranhão,
Centro de Ciências da Saúde,
Departamento de Oceanografia e
Limnologia., São Luís - Maranhão
<https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>

RESUMO: Este estudo visa realizar a caracterização fitossociológica do mangue vermelho *Rhizophora mangle* no manguezal da Praia do Mangue Seco, localizado no município de Raposa, Maranhão, como contribuição ao conhecimento da estrutura e dinâmica de manguezais. A vegetação arbórea predominante na área de estudo inclui as espécies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, com menor presença de *Conocarpus erectus*. Para o estudo do mangue vermelho *R. mangle* a metodologia empregada envolveu coletas e análises realizadas para medir a estrutura das árvores, avaliar as características foliares de *Rhizophora mangle* e analisar o sedimento e a água do estuário. Foi analisada a taxa de herbivoria e análises granulométricas do sedimento, além da análise dos parâmetros da água, como oxigênio dissolvido, turbidez, matéria orgânica, pH e salinidade. Os resultados obtidos mostram que *R. mangle* apresenta estrutura heterogênea, com indivíduos mais antigos mais desenvolvidos e indivíduos jovens que demonstram uma nova colonização da espécie em áreas anteriormente degradadas. A caracterização fitossociológica de *R. mangle* permitiu verificar que a dinâmica do manguezal está

relacionada aos impactos da ocupação da área. Recomendam-se ações de restauração ecológica e de educação ambiental, com estratégias de conservação e manejo sustentável, para a manutenção da biodiversidade e bem-estar das comunidades locais.

PALAVRAS-CHAVE: estrutura de manguezal, dinâmica de manguezal, herbivoria, manguê vermelho

PHYTOSOCIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF *Rhizophora mangle* AS A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF MANGROVE DYNAMICS IN THE MUNICIPALITY OF RAPOSA, MARANHÃO

ABSTRACT: This study aims to perform the phytosociological characterization of the red mangrove *Rhizophora mangle* in the mangrove swamp of Praia do Manguê Seco, located in the municipality of Raposa, Maranhão, as a contribution to the knowledge of the structure and dynamics of mangroves. The predominant tree vegetation in the study area includes the species *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* and *Avicennia germinans*, with a lower presence of *Conocarpus erecta*. For the study of the red mangrove *R. mangle*, the methodology used involved collections and analyses carried out to measure the structure of the trees, evaluate the leaf characteristics of *Rhizophora mangle* and analyze the sediment and water of the estuary. The herbivory rate and granulometric analyses of the sediment were analyzed, in addition to the analysis of water parameters, such as dissolved oxygen, turbidity, organic matter, pH and salinity. The results show that *R. mangle* has a heterogeneous structure, with older, more developed individuals and young individuals that demonstrate a new colonization of the species in previously degraded areas. The phytosociological characterization of *R. mangle* allowed us to verify that the dynamics of the mangrove is related to the impacts of the occupation of the area. Ecological restoration and environmental education actions are recommended, with conservation and sustainable management strategies, for the maintenance of biodiversity and well-being of local communities.

KEYWORDS: mangrove structure, mangrove dynamics, herbivory, red mangrove

INTRODUÇÃO

Manguezais são ecossistemas costeiros encontrados em regiões tropicais e subtropicais ao longo de costas, estuários e deltas de rios. A costa amazônica brasileira está localizada dentro dessa região produtiva que possui grande aporte hídrico, altas taxas de deposição sedimentar e temperaturas frequentemente acima dos 20°C, onde os manguezais encontram as condições mais favoráveis para o seu estabelecimento e desenvolvimento (Silva 2021, p.12, apud Souza-Filho, 1995). Esta região está também associada às grandes amplitudes de maré, dessa forma, aumentando a dispersão das espécies de manguê e resultando em extensos cinturões de florestas de manguê (Silva 2021, p.12, apud Walsh, 1974).

A vegetação arbórea que caracteriza os manguezais amazônicos é composta por três espécies de manguê vermelho, *Rhizophora mangle*, *R. racemosa* e *R. harrisonii*, duas espécies de siriba, *Avicennia germinans* e *A. schaueriana*, pela tinteira *Laguncularia racemosa* e pelo manguê-de-botão *Conocarpus erecta* (Mochel, 2011).

A fitossociologia estuda as causas e efeitos da coabitação de plantas em dado ambiente, o surgimento, constituição e estrutura dos agrupamentos vegetais e os processos que implicam sua continuidade ou sua mudança ao longo do tempo (Martins,2003). No contexto dos manguezais, a fitossociologia investiga a estrutura e composição das comunidades vegetais deste ecossistema costeiro. A composição florística e a estrutura fitossociológica de um bosque pode auxiliar na constituição de uma base teórica útil na construção de projetos de conservação e recuperação de áreas florestais degradadas, cooperando para o seu manejo (Arruda & Daniel, 2007).

No Brasil as espécies de mangue vermelho: *Rhizophora mangle*, que ocorre em todo o litoral brasileiro, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii*, ambas na costa amazônica, do Maranhão ao Amapá (Mochel, 2011). O gênero *Rhizophora*, popularmente conhecido como mangue vermelho, apresenta suas espécies com rizóforos que escoram seus troncos em sedimentos lamosos, frequentemente muito moles, encharcados de água estuarina e sem ar (Tomlinson, 2016)

O manguezal e Mangue Seco, no município costeiro de Raposa, enfrenta desafios com a crescente a ocupação da zona costeira e a supressão da vegetação para usos diversos. Segundo Lyra (2022), a retirada da vegetação nos cordões litorâneos da área estuda aumentaram consideravelmente a partir de 2004, coincidindo com o crescimento urbano, expansão das atividades agrícolas e turísticas desordenadas. Além disso, a deposição de resíduos e efluentes domésticos tornou-se comum nesses ambientes, acarretando na poluição do solo e contaminação das águas subterrâneas. Esses impactos alteram profundamente a dinâmica das unidades geoecológicas, reduzindo sua capacidade de regeneração e autorregulação, promovendo desequilíbrios ecológicos.

Enfatiza-se a necessidade de estudos sobre estrutura e funcionamento das espécies para compreensão da dinâmica do ecossistema manguezal. Portanto, realizou-se a caracterização fitossociológica da espécie de mangue vermelho *Rhizophora mangle*, como contribuição ao conhecimento do papel desta espécie na dinâmica do manguezal da Praia do Mangue Seco no município de Raposa – Ma.

METODOLOGIA

A área de estudo é o bosque de manguezal localizado na região do Mangue Seco, no município de Raposa que, juntamente com outros três municípios: São José de Ribamar, Paço do Lumiar e a capital maranhense São Luís, faz parte da ilha do Maranhão. O município da Raposa se encontra a noroeste da ilha do Maranhão, entre as coordenadas 2° 27' 06,86" e 2° 27' 21,81" S e 44° 09' 20,33" e 44° 09' 45,76" W. O clima da região pode ser enquadrado, de acordo com a classificação de Köppen (1953), como clima do tipo quente e úmido As, com temperatura média de 27.8°C e índice pluviométrico anual de 1977.3 mm. A figura 1 mostra o manguezal da Praia do Mangue seco, onde os pontos verdes em quadrados vermelhos mostram as áreas em que foram coletadas as medidas morfométricas, as folhas, os propágulos e o sedimento.



Figura 1: Mapa da área de estudo (Bosque de Manguezal da Praia do Mangue Seco).

Fonte: Autoria própria, 2024.

As coletas foram efetuadas em maré baixa, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2024, uma vez que, considerando a condições climáticas locais, há uma tendência de haver maior produção de propágulos e ocorrência de inflorescência de *Rhizophora mangle* e de outras espécies do manguezal neste período. As amostragens foram realizadas em uma região isenta de influência da zona industrial da Ilha do Maranhão.

Foram feitas duas idas ao campo, onde estabeleceu-se um perfil paralelo à linha de costa, do mar em direção à terra firme. Nesse perfil foram delimitadas duas parcelas totalizando 260 m², dentro das quais realizaram-se as medidas e coletas de material biológico. Dados estruturais de altura das árvores foram obtidos pela média de três das árvores mais altas dentro da parcela, a partir da determinação subjetiva da homogeneidade do dossel. Os dados de circunferência à altura do peito (CAP) foram obtidos em centímetros com fita métrica e posteriormente divididos pela constante $\pi = 3,146$ para a obtenção do diâmetro à altura do peito (DAP). Conforme descrito em Schaeffer- Novelli & Cintrón (1986) a medida de diâmetro a altura do peito em *Rhizophora mangle* é obtida a partir da medição acima da inserção da última raiz escora. A autora sugere a fórmula abaixo para calcular a área basal a partir dos dados de diâmetro.

$$g = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(DAP)^2}{10.000} \text{ were}$$

g = área basal em m²;

π = 3,146;

DAP = diâmetro à altura do peito em cm.

Para posteriores análises foliares da espécie *R. mangle*, em cada parcela foram coletadas manualmente 50 folhas verdes, expostas ao sol e 30 folhas senescentes. As folhas foram transportadas em sacos lacrados para o laboratório e os parâmetros medidos foram: comprimento e largura das folhas, área da superfície foliar e porcentagem/taxa de herbívora.

O número de folhas foi obtido por contagem direta; a área foliar foi determinada por medidas de comprimento/largura e uso de um fator de correlação. As medições de comprimento e largura das folhas verdes foram feitas com o auxílio de uma régua de 30 cm. A medida de comprimento foi feita em todo o limbo foliar, com a utilização da régua posicionada verticalmente no centro de sua superfície, a partir da base em direção a ponta da folha; os valores de largura foram obtidos a partir do posicionamento horizontal da régua na metade da folha, medindo-a de uma lateral a outra. Os dados coletados foram dispostos em tabelas Excel (tabelas 2 e 3).

As folhas senescentes foram contornadas em papel milimetrado, em seguida fotografadas e com o auxílio do programa ImageJ foram feitas as análises de superfície total, área remanescente e área herbivorada em cada folha, a partir desses dados foi possível calcular a taxa de herbivoria da espécie estudada (Tabela 3), tendo como base a seguinte fórmula: herbivoria = área consumida/área total x 100 (Costa et al., 2019).

Foram feitas análises granulométricas do sedimento da área de estudo para caracterização sedimentológica das parcelas, estas análises ocorreram em laboratório e foram feitas a partir dos procedimentos de peneiramento e pipetagem, que ajudam a caracterizar e classificar os grãos de acordo com seus respectivos tamanhos. Essa classificação é importante porque favorece o entendimento da distribuição das espécies ao longo do perfil, uma vez que as espécies de mangue possuem uma tendência de zonação de acordo com os tipos de sedimentos. As análises da água do estuário foram feitas em laboratório. Os níveis de oxigênio dissolvido, turbidez, matéria orgânica e ph foram coletados utilizando o multiparâmetro Hanna HI 98494, a salinidade foi medida com auxílio de um Refratômetro manual modelo S-28.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área estudada apresenta quatro espécies arbóreas: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans* e *Conocarpus erecta*.

Os resultados obtidos das análises estruturais das árvores de *Rhizophora mangle* revelam importantes aspectos sobre o desenvolvimento e a saúde do manguezal. A medição do diâmetro à altura do peito (DAP) e a determinação da área basal permitem avaliar a produtividade e a capacidade de suporte do ecossistema. Além disso, a coleta de folhas e propágulos em diferentes estágios de maturação fornece informações sobre os processos reprodutivos e a regeneração natural das espécies de mangue. A análise foliar de *R. mangle* fornece dados essenciais sobre a fisiologia vegetal e suas interações com os fatores ambientais.

A espécie *R. mangle* apresentou desenvolvimento foliar com médias de comprimento e largura das folhas elevadas, especialmente na parcela 2, onde o comprimento médio foi de 11,3 cm e a largura média de 5,2 cm (Tabelas 1 e 2)

Parcela 1		
	Comprimento (cm)	Largura (cm)
MÉDIA	9,91	3,90
DESVIO PADRÃO	0,99	0,57
VARIÂNCIA	0,98	0,32

Tabela 1: Resultados para medidas foliares em 50 folhas verdes expostas ao sol da espécie *R. mangle* (n=50) na parcela 1.

Fonte: Autoria própria 2024

Parcela 2		
	Comprimento (cm)	Largura (cm)
MÉDIA	11,35	5,16
DESVIO PADRÃO	1,37	0,66
VARIÂNCIA	1,88	0,44

Tabela 2: Resultados para medidas foliares em 50 folhas verdes expostas ao sol da espécie *R. mangle* (n=50) na parcela 2.

Fonte: Autoria própria 2024

Os resultados da mensuração da estrutura foliar, por meio do comprimento e largura das folhas (Tabelas 1 e 2) juntamente com as medidas estruturais das árvores (Tabela 3) e troncos (Tabela 4) mostraram que o manguezal do Mangue Seco era composto por indivíduos adultos de *R. mangle*. Porém, observou-se o crescimento de indivíduos jovens, ainda em desenvolvimento. A presença de estruturas reprodutivas como flores, frutos e propágulos, indicaram que a espécie mantém seu vigor reprodutivo no bosque estudado.

Dados Estruturais. <i>Rhizophora mangle</i> . Mangue Seco. Todas as parcelas. 21/05/2024		
árvore 1	árvore 2	árvore 3
altura: 4,80 m	altura: 4,80 m	altura: 3,20 m
CAP: 46,0 cm	CAP: 49,5 cm	CAP: 31,5 cm
DAP: 14,62 cm	DAP: 15,73 cm	DAP: 10,01 cm
área basal: 0,0167874	área basal: 0,0194333	área basal: 0,0078697

Tabela 3. Dados estruturais de *R. Mangle* no Mangue Seco

Fonte: Autoria própria 2024

Dados Estruturais. <i>Rhizophora mangle</i> . Mangue Seco. Todas as parcelas. 21/05/2024	
Densidade (%)	
troncos	indivíduos
16,67	50,00
Dominância (%)	
troncos	indivíduos
absoluta: 17,63	absoluta: 12,0
relativa: 73,8	relativa: 0,50

Tabela 4: Resultados para densidade e dominância de árvores de *R. mangle* no manguezal de Mangue Seco.

Fonte: Autoria própria 2024

O desenvolvimento estrutural juntamente com a avaliação da herbivoria, permite uma melhor compreensão das estratégias adaptativas das plantas de manguezal às condições desafiadoras, como salinidade elevada e inundação periódica. Adicionalmente, o estudo da herbivoria fornece indícios relevantes sobre a dinâmica trófica e a manutenção do equilíbrio ecológico dentro do ecossistema. Na Tabela 5 observa-se, pela média da área consumida de todas as folhas, que a taxa de herbivoria de 2,56 indica que a espécie apresentou baixo ataque por herbívoros. É esperado que as plantas possuam defesas naturais eficazes, como a produção de compostos químicos repelentes. A presença desses compostos pode limitar a taxa de herbivoria, como observado em outras espécies vegetais que possuem mecanismos de defesa efetivos (CAMPOE et al., 2014). Portanto, a taxa relativamente baixa de herbivoria em *R. mangle* sugere que essa espécie se mantém resiliente à dinâmica de herbívoros.

	Área total (cm)	Área remanescente (cm)	Área consumida (cm)	Taxa de herbivoria
MÉDIA	31,50	30,70	0,80	2,56
DESVIO PADRÃO	9,74	9,72	1,18	3,74
VARIÂNCIA	94,91	94,47	1,39	13,98

Tabela 5: Resultados para herbivoria em 30 folhas senescentes de *R. mangle* (n=30) em duas parcelas (520 m²).

Fonte: Autoria própria 2024

As análises granulométricas do sedimento e a determinação do teor de matéria orgânica oferecem informações cruciais sobre a composição e a qualidade do substrato do manguezal. A caracterização dos grãos e a quantificação da matéria orgânica permitem compreender os processos de sedimentação, erosão e acumulação de nutrientes no ambiente estuarino, que desempenham um papel fundamental na sustentabilidade do ecossistema.

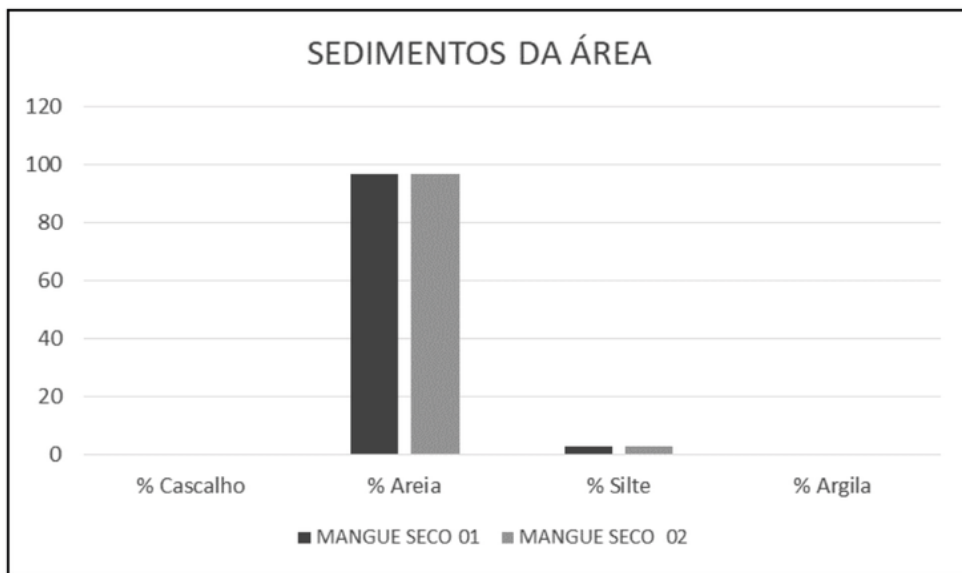


Gráfico 1: Resultado em da análise granulométrica do sedimento nas parcelas 1 e 2

Fonte: Autoria própria

As análises da água do estuário fornecem dados importantes sobre a qualidade e a saúde do ambiente aquático. A medição dos níveis de oxigênio dissolvido, turbidez, matéria orgânica, pH e salinidade permite avaliar os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas na hidrologia e na biogeoquímica do manguezal. Além disso, esses parâmetros são indicadores-chave da saúde dos ecossistemas costeiros e da sua resiliência às perturbações antropogênicas.

Em suma, os resultados obtidos neste estudo proporcionam uma compreensão abrangente da estrutura, função e dinâmica do manguezal da Praia do Manguê Seco, na região da Raposa, Maranhão. Essas informações são essenciais para a elaboração de estratégias eficazes de conservação e manejo sustentável desse importante ecossistema costeiro, que desempenha um papel crucial na proteção da biodiversidade, na mitigação das mudanças climáticas e no bem-estar das comunidades locais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo permitiu verificar que estrutura heterogênea de *R. mangle*, com indivíduos mais antigos mais desenvolvidos e indivíduos jovens menores, indicam uma nova colonização da espécie em áreas anteriormente degradadas. A caracterização fitossociológica de *R. mangle* permitiu, também, observar que a dinâmica do manguezal é afetada pelos impactos da ocupação da área. Recomendam-se ações de restauração ecológica e de educação ambiental, com estratégias de conservação e manejo sustentável, para a manutenção da biodiversidade e bem-estar das comunidades locais.

REFERÊNCIAS

Arruda, L.; Daniel, O. Florística e diversidade em um fragmento de floresta estacional semidecidual aluvial em Dourados, MS. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 187-199, 2007.

Costa, A. M.; Silveira, M. J.; Sérgio, M. Fatores relacionados com a herbivoria de uma macrófita invasora em seu ambiente nativo. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR, 28, 8., 2019. Maringá. **Resumos [...]**. Paraná: Universidade Estadual de Maringá, 2019.

Lyra, Ingrid Nicolly Oliveira. **Estudo geocológico da paisagem costeira do município de Raposa – MA: bases para o planejamento ambiental**. 2022. 160 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

Martins, F. R.; Jardim, M.A.G.; Bastos, M.N.C.; Santos, J.U.M. Para que serve a fitossociologia. Desafios da Botânica Brasileira no Novo Milênio: inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal. **EMBRAPA Amazônia Oriental**, Belém, p.252-254, 2003.

Mochel, F. R. Structural variability of mangrove forests in Turiaçu Bay, Amazonian Coast of Maranhão, Brazil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, São Luís, v. 23.1: p. 27-32, 2011.

Mochel, F. R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: Martins (org.) **Amazônia maranhense: diversidade e conservação**, Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi Belém, p. 94-117, 2011.

Novelli, Y.S.; Cintron, G. Status of mangrove research in Latin America and the Caribbean. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 38, p. 93-97, 1990.

Silva, H. C. P.; Virgulino-Junior, P. C. C.; Rabelo, M. T. B. V.; Paixão, E. S. M.; Mendes, D. S.; Nascimento, A. A. M.; Galvão, M. L.; Fernandes, M. E. B. Distribuição, Estrutura e Produtividade das Florestas das Florestas de Mangue. In: Fernandes, M. E. B. *et al.* (org.). **Projeto Mangues da Amazônia: uma abordagem socioambiental**. Bragança: PETROBRAS; Mangues da Amazônia, 2023. cap 2, p. 11-34

Souza-Filho, P.W.M. 1995. A planície costeira bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. p.122

Tomlinson, P. B. The Botany of Mangroves. Second Edition. In: *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press; 2016:i-i.

Walsh, Gerald E. Mangroves: a review. In: REIMOLD, R. J *et al* (org.). **Ecology of halophytes**. New York: Academic Press Inc, 1974, cap.2-2, p. 51-174.

CAPÍTULO 4

PERFIL QUÍMICO E ATIVIDADES ANTIBACTERIANA, TOXICOLÓGICA E POTENCIAL MODULADOR DO ÓLEO E EXTRATOS *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau): UMA REVISÃO

Data de submissão: 11/11/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Cicero Lucas Marques de Macedo

Centro Universitário Dr. Leão Sampaio,
Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil

José Weverton Almeida-Bezerra

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

José Thyálisson da Costa Silva

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Rafael de Carvalho Mendes

Faculdade de Medicina Estácio de
Juazeiro do Norte, Juazeiro do Norte,
Ceará, Brasil

Rita Helanny Viana Eugenio

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Maria Hellena Garcia Novais

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Adrielson José da Silva

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Francisca de Fátima Silva de Sousa

Universidade Regional do Cariri, Crato,
Ceará, Brasil

Eveline Naiara Nuvens Oliveira

Hospital Regional do Cariri, Juazeiro do
Norte, Ceará, Brasil

Fabiola Fernandes Galvão Rodrigues

Centro Universitário Dr. Leão Sampaio,
Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil

Tassia Thaís Al Yafawi

Centro Universitário Dr. Leão Sampaio,
Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil

José Walber Gonçalves Castro

Centro Universitário Dr. Leão Sampaio,
Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil

RESUMO: Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o perfil químico, atividades antibacteriana, toxicológica e potencial modulador do óleo e extratos de *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau). A fitoterapia, destacada por oferecer alternativas terapêuticas naturais com menos efeitos adversos, tem sido amplamente utilizada em várias condições de saúde. *Citrus bergamia*, ou bergamota, é uma planta da família Rutaceae, rica em compostos bioativos, como polifenóis e compostos voláteis, que incluem flavonóides, limoneno, linalol e acetato de linalina. A metodologia utilizada foi uma revisão integrativa de literatura, incluindo artigos publicados entre 2018 e 2024. Os dados foram coletados em bases como PubMed e Google Acadêmico, utilizando termos-chave relacionados à bergamota e suas atividades biológicas. Foram analisados estudos sobre o potencial antibacteriano do óleo essencial da casca da fruta, que demonstrou eficácia contra bactérias como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*. Além disso, o óleo e os extratos da bergamota também exibiram propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas. Os resultados sugerem que *Citrus bergamia* possui grande potencial terapêutico, sendo uma alternativa promissora no combate a infecções resistentes a antibióticos e outras condições de saúde, devido às suas atividades biológicas diversificadas. Conclui-se que os compostos derivados da bergamota podem desempenhar um papel relevante no desenvolvimento de novos tratamentos farmacêuticos e alimentícios baseados em produtos naturais.

PALAVRAS-CHAVES: Citrus bergamia, Fitoquímica, Plantas medicinais

CHEMICAL PROFILE AND ANTIBACTERIAL, TOXICOLOGICAL AND POTENTIAL MODULAR ACTIVITIES OF CITRUS BERGAMIA OIL AND EXTRACTS (RISSO & POITEAU): A REVIEW

ABSTRACT: This paper presents a literature review on the chemical profile, antibacterial and toxicological activities, and modulatory potential of *Citrus bergamia* oil and extracts (Risso & Poiteau). Phytotherapy, known for offering natural therapeutic alternatives with fewer adverse effects, has been widely used in various health conditions. *Citrus bergamia*, or bergamot, is a plant of the Rutaceae family, rich in bioactive compounds, such as polyphenols and volatile compounds, which include flavonoids, limonene, linalool, and linalin acetate. The methodology used was an integrative literature review, including articles published between 2018 and 2024. Data were collected from databases such as PubMed and Google Scholar, using key terms related to bergamot and its biological activities. Studies on the antibacterial potential of the essential oil from the fruit peel were analyzed, which demonstrated efficacy against bacteria such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Listeria monocytogenes*. Furthermore, bergamot oil and extracts also exhibited antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties. The results suggest that Citrus bergamia has great therapeutic potential, being a promising alternative in the fight against antibiotic-resistant infections and other health conditions, due to its diverse biological activities. It is concluded that compounds derived from bergamot may play a relevant role in the development of new pharmaceutical and food treatments based on natural products.

KEYWORDS: Citrus bergamia, Phytochemistry, Medicinal plants

INTRODUÇÃO

A fitoterapia tem ganhado destaque como uma abordagem terapêutica alternativa, oferecendo uma série de benefícios em comparação com os medicamentos convencionais. Reconhecidos por sua menor incidência de efeitos adversos, os medicamentos fitoterápicos têm conquistado a confiança tanto de médicos quanto de pacientes. Sua utilização abrange uma ampla variedade de condições de saúde, abrangendo desde o tratamento do câncer até distúrbios hepáticos, proporcionando uma opção natural e acessível (Guo *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2021a). A partir disso, a diversidade e distribuição geográfica da família Rutaceae oferecem um vasto campo de estudo para a fitoterapia. Muitas espécies dentro dessa família têm sido tradicionalmente utilizadas como fontes de medicamentos em diversas culturas ao redor do mundo. A floração em plantas perenes é influenciada por diversos fatores, como a carga de frutos e as condições ambientais. Além disso, a relação entre a carga de frutos e o processo de floração em plantas perenes podem alterar componentes ativos e conseqüentemente o seu uso como fitoterápico, vindo a depender das características da espécie (Junior *et al.*, 2023; Mesejo *et al.*, 2021).

Dentre as principais espécies capazes de serem utilizadas como fitoterápicos podemos destacar as pertencentes a família Rutaceae sendo os cítricos seu gênero de destaque, como laranjas, toranjas e tangerinas, na qual, são principalmente misturas de espécies ancestrais, especialmente pomelo (*Citrus maxima*) e tangerina (*Citrus reticulata*). As variedades mais conhecidas incluem a laranja doce (*Citrus sinensis*), limão (*Citrus limon*) e a toranja (*Citrus paradisi*) (Ibeas *et al.*, 2021; Velasco; Licciardello, 2014).

Desta forma é possível destacar a bergamota (*Citrus bergamia*), uma pequena árvore perene que pode crescer até 5 metros de altura, com caule ereto, ramos irregulares e folhas aromáticas. Suas folhas são simples, alternadas, coriáceas, e apresentam glândulas de óleo visíveis. O fruto trata-se de uma baga ligeiramente achatada, varia de subglobosa a piriforme, com casca verde brilhante que se torna amarelo pálido quando maduro, contendo numerosas glândulas de óleo essencial. O mexocarpo é branco e o endocarpo, dividido em 10-15 segmentos, contendo sumo amarelo-esverdeado, de bulbo azedo e amargo, com poucas sementes (Rapisarda; Germanò, 2013; Quirino *et al.*, 2022; Tsiokanos *et al.*, 2021).

O interesse em compostos de origem natural como fontes promissoras para lidar com a crescente resistência antimicrobiana nos últimos anos, têm enfrentado desafios importantes e proporcionado novas oportunidades na pesquisa farmacêutica. Ao longo da história, os produtos naturais e seus derivados estruturais desempenharam um papel crucial na terapêutica, oferecendo contribuições substanciais no tratamento de condições como câncer e doenças infecciosas (Atanasov *et al.*, 2021). Portanto esse trabalho tem como objetivo relatar o perfil químico e atividades antibacteriana e toxicológica e potencial modulador do óleo e extratos *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau).

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo do tipo revisão de literatura integrativa com cunho descritivo no qual será composta com o objetivo de retratar sobre o assunto do tema de forma imparcial, mas contendo todos os seus diversos aspectos, fornecendo informações mais amplas sobre o assunto e sintetizando os resultados obtidos em pesquisas anteriores sobre o tema (MENDES et al., 2019).

O estudo foi elaborado no primeiro semestre do ano de 2024. A coleta de dados decorreu-se dos meses: janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho, através das bases de dados acessíveis via internet: PubMed e Google acadêmico, realizado no município de Juazeiro do Norte-CE, através das palavras chaves "*Citrus bergamia*," "*Citrus bergamia* Risso", "*Citrus activities*", "*Citrus antibacterial activity*" e "*chemical composition Citrus*". Foram incluídos no estudo artigos publicados entre os anos de 2018 a 2024 nos idiomas inglês, português e espanhol, sendo excluídos artigos duplicados e de anos anteriores ao que foi proposto, bem como aqueles que se caracterizam apenas no formato de resumo. Além disso, serão excluídos os artigos que, mediante leitura do título e do resumo, evidenciarem que não abordam o tema *Citrus*.

DESENVOLVIMENTO

FITOTERAPIA

A fitoterapia é uma prática antiga que utiliza partes de plantas ou seus componentes isolados para tratar uma variedade de doenças e sintomas. Embora seja amplamente praticada e aceita por pacientes com diferentes condições de saúde, diversos mecanismos de ação molecular no corpo humano ainda são desconhecidos, o que limita seu desenvolvimento e aplicação. Ao longo dos séculos, as ervas e extratos herbais têm sido valorizados por seus potenciais terapêuticos e continuam a desempenhar um papel importante no tratamento de diversas enfermidades (Barkat et al., 2020; Lee et al., 2022).

O uso de medicamentos cujos constituintes ativos são plantas ou derivados vegetais são uma fonte inestimável para a descoberta de novos alvos terapêuticos para todos os tipos de doenças humanas. Os medicamentos à base de plantas têm efeitos benéficos na produção de terapêuticas mais seguras devido à sua fácil acessibilidade, preço acessível e menores efeitos colaterais quando comparados a outros fármacos. Sendo a fitoterapia uma área em crescimento pela sua abordagem e conhecimento popular que se dá por meio do uso de práticas empíricas (Büntzel et al., 2022; Gaire, 2018). Os metabólitos secundários desempenham um papel crucial não apenas na defesa contra patógenos e herbívoros, mas também na adaptação às condições ambientais em constante mudança. Além disso, sua ativação como mecanismos de defesa pode permitir que as plantas otimizem as sinergias entre diferentes estratégias de proteção e compensem possíveis falhas em vias

de defesa específicas. Portanto, é cada vez mais evidente que os metabólitos secundários desempenham múltiplas funções nas plantas, além de sua função primária na defesa (Erb; Kliebenstein, 2020). Os compostos secundários são mais abundantes nas cascas do que na polpa das frutas. Os flavonóides foram os compostos mais prevalentes encontrados nas cascas de frutas, seguidos pelos ácidos fenólicos, carotenoides e limonóides, e seus principais componentes foram o ácido ferúlico, a β -criptoxantina e a limonina, respectivamente (Lin *et al.*, 2023).

Os fitoquímicos podem exercer influência diretamente nos vasos sanguíneos, através de um efeito relaxante, envolvendo as cascatas de sinalização; ou indiretamente, por meio da inibição ou estimulação de diversos sistemas, como a enzima conversora de angiotensina (ECA), o sistema renina-angiotensina (RAS) ou atividade diurética, demonstrando eficácia na melhoria do aumento da pressão arterial experimental ou clinicamente (Ajebli; Eddouks, 2019).

Cítricos

A casca de frutas cítricas (CFC) representa aproximadamente 40 a 50% da massa total da fruta e é uma fonte significativa de compostos naturais benéficos para a saúde, incluindo compostos fenólicos e carotenoides. Os compostos fenólicos presentes na CFC são principalmente ácidos fenólicos, como ácido cafeico, p-cumárico, ferúlico e sinápico, além de flavanonas, como naringina e hesperidina, e flavonas polimetoxiladas, como nobiletina e tangeretina (Singh *et al.*, 2020).

A extração de compostos bioativos das cascas de laranja e limão, seguida pela utilização desses compostos na síntese de um bioconjugado macromolecular e na preparação de gomas funcionais, pode representar uma alternativa sustentável para aproveitar esses subprodutos em uma abordagem de economia circular. Um método ecologicamente correto foi empregado para obter extratos enriquecidos em ácido fenólico e flavonoides (Aiello *et al.*, 2024). Os cítricos são conhecidos por conterem uma variedade de nutrientes, incluindo substâncias antioxidantes encontradas na casca que têm sido estudadas como potenciais agentes contra o câncer. Esses antioxidantes, como os flavonoides, podem ajudar a inibir a disseminação do câncer, reduzir a mobilidade das células cancerosas na corrente sanguínea, induzir a morte celular programada (apoptose) e suprimir a formação de novos vasos sanguíneos (angiogênese) (Alaqeel, 2023).

As frutas cítricas são uma fonte rica e excepcional de flavonoides bioativos, especialmente flavonas polimetoxiladas (PMFs), incluindo nobiletina, tangeretina e 5-demetil nobiletina. Além disso, as frutas cítricas são uma fonte densa de xantofilas bioativas (por exemplo, ésteres de violaxantina), carotenoides de provitamina A (por exemplo, β -criptoxantina) e apocarotenoides (por exemplo, β -citraurina). Esses compostos bioativos reduzem os mediadores inflamatórios e as espécies reativas de oxigênio no corpo, minimizando assim o risco de síndrome metabólica, incluindo doenças neurodegenerativas, doenças cardiovasculares (CVD), diabetes e câncer (Pereira *et al.*, 2019; Saini *et al.*, 2022).

O óleo essencial da folha de *Citrus aurantifolia*, conhecida como laranja lima, apresenta diversos constituintes, testes com extração de óleo essencial por hidro destilação e análise de composição por cromatografia gasosa, demonstra que o D-limoneno (57,84%) foi o principal constituinte do óleo, outros compostos notáveis identificados foram o neral (7,81%), o linalol (4,75%), a sulcatona (3,48%) e o isogeraniol (3,48%) (Ibrahim *et al.*, 2018).

A hesperidina é um glicosídeo de flavonona encontrado em concentrações elevadas nas frutas cítricas. Além de suas propriedades antioxidantes, antibacterianas, antimicrobianas, anti-inflamatórias e anticarcinogênicas, a hesperidina atua no metabolismo lipídico e o metabolismo da glicose, isso ocorre por meio da mediação das vias de sinalização AMPK e PPAR. Ademais, influencia indiretamente a via de sinalização NF-κB para regular a inflamação (Pyrzynska, 2022).

Os sucos de frutas cítricas são ricos em vitamina C e folato, que desempenham papéis essenciais na manutenção da integridade das barreiras imunológicas e no apoio à função de diversos tipos de células do sistema imunológico, incluindo fagócitos, células natural killer, células T e células B. Além disso, esses sucos contêm polifenóis bioativos, como a hesperidina, a narirutina e a naringina, que demonstraram possuir propriedades anti-inflamatórias em estudos com modelos experimentais. As pesquisas envolvendo a hesperidina em seres humanos relataram reduções nos marcadores inflamatórios (Miles; Calder, 2021; Peng *et al.*, 2024).

O extrato da folha de *Citrus aurantium* na análise de compostos e avaliação da atividade biológica, apresentou atividades: antioxidantes, antitirosinase, antienvhecimento e antimicrobianas eficientes, bem como atuação na absorção e permeação transdérmica, sem toxicidade para as células da pele. Alguns compostos como linalol, limoneno e α-terpineol presentes no extrato foram cruciais para as atividades biológicas encontradas (Wang *et al.*, 2023). A grande variabilidade na composição da fração volátil do óleo e dos extratos de bergamota é atribuída a diversos fatores, como o período de produção, a variedade da fruta, a região de cultivo e a técnica de extração. Por exemplo, estudos recentes indicam que o método de extração por prensa de parafuso resulta em um suco com maior concentração de glicosídeos de flavonona em comparação com outros processos, o que aumenta sua atividade antioxidante. Esse método também preserva as qualidades nutricionais do suco fresco prensado (Cautela *et al.*, 2019).

Os óleos essenciais de cítricos (OEC) representam uma alternativa econômica, ecológica e natural aos conservantes sintéticos para a segurança, embalagem e preservação de alimentos. Suas aplicações incluem filmes e revestimentos comestíveis, polímeros biodegradáveis micro encapsulados e revestimentos de nano emulsão, proporcionando propriedades antimicrobianas. Os OECs têm o potencial de reduzir a poluição ambiental, substituir antimicrobianos sintéticos e utilizar subprodutos de espécies cítricas nos setores de processamento de alimentos (Bora *et al.*, 2020).

Família Rutaceae

A família Rutaceae consiste em mais de 1.600 espécies diferentes de arbustos e pequenas árvores, distribuídas em aproximadamente 150 gêneros, que crescem principalmente em países de climas tropicais, subtropicais e temperados sendo que, no Brasil, são descritos 33 gêneros e aproximadamente 192 espécies (Brasil, 2021).

Durante o período juvenil, o mecanismo de inibição da floração é determinado no botão imaturo, de modo a que este adquira progressivamente a capacidade de floração ao nível da expressão do gene do programa da época de floração, enquanto na árvore adulta é determinado na folha, onde ocorre a repressão da expressão do gene CiFT2 (Fambuena *et al.*, 2018).

Em muitas plantas perenes, a floração sazonal é controlada principalmente pelas condições ambientais, mas em certas plantas policárpicas, os sinais ambientais são localmente controlados pela presença de frutos em desenvolvimento iniciados na estação anterior através de um mecanismo desconhecido. A policarpia é definida como a capacidade das plantas de se reproduzirem várias vezes ao longo da sua vida, alternando meristemas vegetativos e reprodutivos no mesmo indivíduo (Agustí *et al.*, 2019).

Portanto, fica evidente que em diferentes grupos de Rutaceae, a evolução de flores tubulosas ocorreu por meio de modos distintos e variados, frequentemente apresentando alto grau de homoplasia. Diversas pressões seletivas podem favorecer a ocorrência de um tipo geral de flor tubulosa, cujas vantagens adaptativas prováveis incluem uma restrição maior a visitantes que buscam recursos como néctar, uma conformação mais eficaz na garantia do sucesso da polinização ou ainda na proteção dos órgãos reprodutivos internos da flor (Pirani; Leite; Menezes, 2010).

Gênero Citrus

O gênero *Citrus* e os gêneros *Fortunella*, *Poncirus*, *Eremocitrus* e *Microcitrus* pertencem à subfamília angiospérmica *Aurantioideae* da família Rutaceae, que se encontra amplamente distribuída pela região das monções, desde o oeste do Paquistão até o centro-norte da China e para sul, através do Arquipélago das Índias Orientais, até à Nova Guiné e ao Arquipélago de Bismarck, nordeste da Austrália, Nova Caledónia, Melanésia e ilhas da Polinésia Ocidental (Wu *et al.*, 2018). Os cítricos são espécies policárpicas e perenes que florescem uma vez na primavera ou várias vezes por ano, consoante o genótipo e as condições climáticas. A indução floral é desencadeada por baixas temperaturas e stress por déficit hídrico e ocorre 2-3 meses antes da germinação dos botões, enquanto a diferenciação ocorre ao mesmo tempo que a germinação (Agustí *et al.*, 2022). Os cítricos são uma importante cultura de frutas em todo o mundo. Os diferentes estágios de desenvolvimento das folhas cítricas estão associados a características distintas, como diferenças nas suscetibilidades a patógenos e insetos, bem como na capacidade fotossintética (Ribeiro, 2021).

As variedades cítricas mais reconhecidas incluem a laranja doce (*Citrus sinensis*), tangerina (*Citrus reticulata*), limão (*Citrus limon*), toranja (*Citrus paradisi*) e pummelo (*Citrus grandis* ou *Citrus maxima*). Existem diversos sistemas reprodutivos presentes entre as variedades de espécies cítricas, que abrangem desde a reprodução sexual até a propagação clonal, além de combinações desses sistemas (Wang *et al.*, 2017). As espécies de cítricos são fontes naturais de hidratos de carbono, fibras alimentares, vitaminas hidrossolúveis e compostos fitoquímicos como: os flavonóides, limonóides e carotenóides. Os estudos *in vitro* e *in vivo* relatam predominantemente as influências de diferentes espécies em vários sistemas, como os sistemas imunitário, reprodutor, cardiovascular e nervoso central (Zibae *et al.*, 2020). A maioria das espécies cítricas tem como característica o longo período de juvenilidade; portanto, elas não produzem flores ou frutos por muitos anos. A floração em cítricos é um mecanismo complexo regulado por vários fatores genéticos e ambientais (Kaur *et al.*, 2024).

Citrus bergamia (Risso & Poiteau)

A bergamoteira (Figura 2) é uma pequena árvore perene que em cultivo pode crescer até 5 m de altura, com um caule ereto, cilíndrico, marrom-acinzentado escuro e ramos irregulares. As folhas têm um pecíolo curto, às vezes alado, e são persistentes, simples, alternadas e aromáticas quando machucadas. A casca tem de 3 a 6 mm de espessura, com numerosas glândulas contendo o óleo essencial, lisa a áspera, aderente e verde brilhante, tornando-se amarelo pálido quando o fruto está maduro (Quirino *et al.*, 2022). A bergamota (*Citrus bergamia* (Risso & Poiteau)), é derivada de uma pequena árvore cultivada ao longo da costa jônica da região da Calábria, no sul da Itália, uma planta antiga usada para a produção de óleo essencial a partir da casca da fruta, mas recentemente avaliada também pelo alto teor de fenólicos na polpa da fruta (Leo *et al.*, 2019).

As origens botânicas e geográficas da Bergamota são incertas, pode ser uma planta endêmica da região da Calábria (Itália) ou pode ter origem na Grécia. O termo “bergamota” parece derivar de Berga, sendo as árvores de *Citrus bergamia* são principalmente cultivadas ao longo da costa sul da Calábria, contribuindo com mais de 90% da produção global de bergamota (Navarra *et al.*, 2015). Os estudos recentes de genotipagem usando tecnologias de sequenciamento de próxima geração para analisar os genomas de organismos diploides e poliploides de várias espécies do gênero *Citrus* aumentaram nossa compreensão da complexidade de seus genomas e revelaram ligações filogenéticas entre essas espécies. Esses estudos revelaram a complexa estrutura filogenômica da bergamota e indicam que a bergamota se origina da hibridização entre uma laranja azeda e um limão (Ahmed *et al.*, 2019).

Descobriu-se que data de colheita e cultivar influenciam a biometria e as propriedades físico-químicas das frutas e do suco de frutas. O teor de vitamina C diminui durante o amadurecimento da bergamota e está próximo da média ou em maior quantidade em comparação com outros sucos de frutas cítricas (Giuffrè, 2019).

ATIVIDADES BIOLÓGICAS

A espécie *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau) apresenta diversos componentes (por exemplo, extrato, suco, óleo essencial e fração polifenólica) que podem ser utilizadas para benefício humano, desde a polpa até a casca, por fazer parte do gênero citrinos apresenta inúmeros bioativos sendo descrita como uma fonte rica em polifenóis, dentre homólogos de mesmo gênero, especialmente graças as elevadas quantidades de flavonóis incluindo os glicosídeos de flavonas e flavononas (Siano *et al.*, 2023).

Na casca das frutas cítricas concentra-se a maior parte do óleo essencial (OE), a partir de avaliações feitas os principais componentes incluem monoterpenos, sesquiterpenos e derivados oxigenados, tendo como principais atividades biológicas: antioxidantes, anti-inflamatórios, analgésicos, antimicrobianos e anticancerígenos, além disso os componentes voláteis presentes nos OE indicam a presença de *d*-Limonene, Linalool, Linalyl acetate, β -Pinene, γ -Terpinene e α -Pinene, enquanto nas substâncias não voláteis estão Bergamottin, Bergapten, 5-Geranolxy-7-methoxycoumarin e Citropten (Dosoky *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2021).

Atividade antibacteriana

Sua atividade antimicrobiana e antifúngica pode ser atribuída a composição volátil, que inclui os compostos limoneno, linalol e acetato de linalina, presente no óleo essencial da casca de *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau). Os testes em discos de difusão demonstram efeitos antibactericida contra *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*, além disso o ativo se mostrou eficaz contra fungos como *Aspergillus niger* e *Penicillium expansum*, sendo a atividade dose dependente (Cebi; Erarslan, 2023). Uma abordagem terapêutica alternativa em potencial pode ser representada por óleos essenciais, como o destilado de bergamota, que segundo estudos demonstram efeito bactericida e fungicida significativo contra certas cepas. A concentração bactericida mínima é definida como 99,9%, ou mais, de eficácia de eliminação, porém neste produto mostrou um efeito bactericida somente após 8 horas, em cepas de *S. aureus*, já em cepas de *S. epidermidis* e *S. haemolyticus* o efeito bactericida ocorreu após um tempo maior de exposição entre 8 e 24 horas (Quirino *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).

Nanopartículas de prata (NPsAg) produzidas por síntese verde a partir da casca, do fruto e das sementes de *Citrullus lanatus* demonstraram um potencial antibacteriano significativo contra a microflora oral comum. A atividade antibacteriana, avaliada pela zona de inibição, foi mais pronunciada nas NPsAg derivadas das sementes em comparação com as provenientes da fruta e da casca. As NPsAg de sementes exibiram uma atividade antibacteriana particularmente elevada contra *Staphylococcus aureus*, superando a eficácia observada contra outras bactérias (Govindaraj *et al.*, 2023). Um óleo essencial (OE) de frutas cítricas comercial foi fracionado e testado para identificar sua atividade antibacteriana e antioxidante, na qual diante de cepas bacterianas de *Escherichia coli* U21 e *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469, foi identificado uma concentração inibitória e bactericida mínima (CIM/CBM), demonstrando capacidade antibacteriana significativa, sendo o limoneno e sua interação sinérgica entre outros compostos como carvona, cis-carveol e trans-carveol, que fornecem as atividades biológicas presentes no OE (Ambrosio *et al.*, 2021).

Estudo utilizando óleos essenciais de cinco frutas cítricas, dentre eles o de bergamota, para identificar atividade antibacteriana contra cepas bacterianas de *Escherichia coli*, *Salmonella* e *Lactobacillus acidophilus*. Apresentando Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Bactericida Mínima (CBM) em todas as cepas, tendo destaque a CIM para *E.coli* que apresentou um valor de 20mg/ml (Li *et al.*, 2022).

Atividade Antioxidante

A folha e o fruto assim como a casca são porções da bergamota que possuem diversos ativos e atividades semelhantes. A avaliação de seus compostos a partir do extrato de óleo essencial do fruto indicam uma percentagem de fenóis (4,5%) e outros (15,7%), os polifenóis são 79,8% (21,6% de flavonas e 58,2% de flavononas), sendo que o extrato de óleo essencial da folha apresenta 1,8% de fenóis, 95,5% de polifenóis (33,1% de flavonas e 64,2% de flavononas) e 2,7% de outros, estes resultados demonstram uma maior atividade antioxidante do extrato da folha em relação ao fruto, devido a grande quantidade de polifenóis (Baron *et al.*, 2021; Caputo *et al.*, 2020).

Um estudo investigou se o suco de bergamota (SB) poderia exercer efeito preventivo contra a morte celular induzida pela 6-hidroxi-dopamina (6-OHDA) ou peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em células de neuro blastoma. A exposição das células de neuro blastoma humano diferenciadas (SH-SY5Y) à 6-OHDA resultou em mortalidade celular, O pré-tratamento com SB reduziu o número de células em apoptose, com 12,7% e 7,3% de apoptose precoce e tardia quando as células foram pré-incubadas com SB 0,5%. Esses efeitos protetores do SB parecem estar associados à diminuição das espécies reativas de oxigênio (ROS) intracelulares e do óxido nítrico (NO) (Cirmi *et al.*, 2021; Ferlazzo *et al.*, 2020).

No sumo da bergamota em pó (SBP) foram identificados diversos componentes bioativos, em particular fibras solúveis, polifenóis e betainas de aminoácidos, como a estaquidrina e a betonicina. Análises identificaram 86 compostos, sendo a hesperetina, naringenina, apigenina e os glucosídeos de eridictiol os principais componentes. Os efeitos *in vivo* do SBP podem ser atribuídos não só aos polifenóis da bergamota, como efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e reguladores dos lipídeos bem conhecidos, mas também às fibras alimentares e aos constituintes não fenólicos, como a estaquidrina (Vedova *et al.*, 2023).

Em testes utilizando a bergamota foi efetuado a caracterização estrutural de um novo flavonoide do fruto, denominada peripolina, a estrutura foi encontrada na molécula purificada extraída do fruto. A realização de testes químicos demonstra que a peripolina possui enorme capacidade antioxidante, semelhante ao da neoeriocitrina, podendo vir a ter o mesmo potencial *in vivo* (Bartella *et al.*, 2022).

Outras atividades

Um dos efeitos positivos que tem sido de bastante estudado é a atividade antiplaquetária dos flavonóides, ou seja, a prevenção da formação de coágulos primários através da inibição da agregação plaquetária. Embora o efeito anti agregante dos flavonóides fosse de interesse no século XX, as concentrações *in vitro* para observar o efeito eram extremamente elevadas (100 vezes mais do que a concentração de flavonóides obtida *in vivo*) (Bojić *et al.*, 2019). O acetato de linalilo atinge o seu nível máximo durante a maturação dos frutos de bergamota e é responsável pela coloração amarela da casca do fruto. O elevado teor de acetato de linalilo e linalol no óleo de bergamota é benéfico no tratamento da dor clínica e é responsável pelo efeito antinociceptivo e antialodínico (Singh *et al.*, 2021).

Foram realizados testes utilizando o óleo essencial da bergamota como modelo experimental em edemas localizados em patas de ratos. o pré-tratamento indicou a presença de atividade antiedematogênica, evidenciado pela redução significativa dos níveis de interleucina (IL)-1 β , IL-6 e fator de necrose tumoral (TNF)- α assim como o teor de nitrito/nitrato e prostaglandina E₂ (Lombardo *et al.*, 2020). Um estudo investigou o modo de ação do suco de bergamota (SB) no eixo AMPK/SIRT1, envolvidos principalmente no controle da longevidade e homeostasia energética. Os resultados mostraram que todos os compostos testados, incluindo o SB, inibiram a atividade da SIRT1 em ensaios sem células. Esse efeito também foi observado em células humanas expostas a moléculas inflamatórias. Esses resultados indicam representam um avanço no conhecimento sobre a atividade anti-inflamatória do SB e em patologias envolvendo o eixo AMPK/SIRT1 (Maugeri *et al.*, 2019).

Os testes utilizando fibra de bergamota (FB) para identificar neurotoxicidade induzida pelo tratamento com proteína beta amiloide (A β). A concentração de BF de 10 μ g/mL demonstrou uma redução significativa na mortalidade celular. A análise por HPLC sugeriu a presença de polifenóis protetores, como brutieridina, melitidina, naringina, neoeriocitrina e neohesperidina na composição química do BF, o que pode explicar seus efeitos benéficos (Maiuolo *et al.*, 2023). Os estudos para analisar o potencial efeito antileucêmico do extrato do sumo da bergamota (SB) em células THP-1, na qual identificaram que a concentração de 5 mg/mL induziu um efeito citotóxico em células THP-1, causando a parada do ciclo celular na fase S e acionando a maquinaria apoptótica, por direcionamento da via SIRT2/AKT/p53. Além disso foi identificado que o SB não causou qualquer aumento significativo na morte celular de células mononucleares do sangue periférico em nenhum dos tempos ou concentrações avaliados (Maugeri *et al.*, 2022).

As novas formulações com o uso da bergamota foram testadas para a possibilidade de atividade anticancerígena, utilizando prensagem a frio de cascas de bergamota para obtenção de óleo essencial de bergamota (OEB). A incorporação do OEB em nanopartículas levou a um aumento da sua capacidade citotóxica, em comparação com o óleo livre em concentrações baixas equivalentes na linha de células tumorais Caco-2 CRC, indicando uma possibilidade no desenvolvimento de agentes anticancerígenos (Marchese *et al.*, 2020). Na investigação de produtos naturais, é comum que os novos compostos sejam encontrados em concentrações baixas, isso ressalta a importância crescente do aumento da escala dos processos microbianos para a pesquisa acadêmica, permitindo o acesso a novos metabolitos secundários produzidos em baixas concentrações. Nos últimos anos, tem sido observado um interesse cada vez maior no desenvolvimento de produtos híbridos que combinam polifenóis bioativos derivados de plantas. Essa abordagem promissora representa uma integração inovadora entre a pesquisa de produtos naturais, abrindo caminho para novas estratégias de tratamento baseadas em compostos naturais (Kufs *et al.*, 2022; Micale *et al.*, 2021).

Os estudos realizados com a espécie *Citrus bergamia* (Risso & Poiteau) apontam a capacidade de reduzir colesterol e conseqüentemente o risco cardiovascular, sendo observada uma redução significativa nos níveis de triglicerídeos. Foi determinado uma vasta gama de flavonoides, sendo a neohesperidina, a neoeriocitrina, a naringina e naringina, os flavonoides mais abundantes. Além disso o sumo apresenta efeitos protetores na esteatose hepática, provavelmente devido à redução do *stress* oxidativo e da inflamação (Leo *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

O estudo revelou que a *Citrus bergamia* (bergamota) possui uma composição química rica em compostos bioativos, como polifenóis (flavonas e flavanonas) e compostos voláteis (limoneno, linalol e acetato de linalina), que são responsáveis por suas diversas atividades biológicas.

Os estudos demonstram que a bergamota demonstra potente ação antibacteriana, ajudando a combater infecções resistentes a antibióticos. Além disso, possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas e moduladoras, destacando-se como uma alternativa promissora para o tratamento de diversas condições de saúde. A investigação desses efeitos pode não apenas validar o uso tradicional da bergamota, mas também incentivar o desenvolvimento de novos tratamentos baseados em produtos naturais. Espera-se que esses achados contribuam para a evolução científica, promovendo maior satisfação e segurança no uso da bergamota em contextos terapêuticos.

REFERÊNCIAS

AGUSTÍ, M. *et al.* Fruit-dependent epigenetic regulation of flowering in *Citrus*. **New Phytologist**, v. 225, n. 1, p. 376–384, 5 jul. 2019.

AGUSTÍ, M. *et al.* Advances in *Citrus* Flowering: A Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 8 abr. 2022.

AHMED, D. *et al.* Genotyping by sequencing can reveal the complex mosaic genomes in gene pools resulting from reticulate evolution: a case study in diploid and polyploid *Citrus*. **Annals of Botany**, v. 123, n. 7, p. 1231–1251, 29 mar. 2019.

AIELLO, F. *et al.* Formulation of Antioxidant Gummies Based on Gelatin Enriched with *Citrus* Fruit Peels Extract. **Foods**, v. 13, n. 2, p. 320–320, 19 jan. 2024.

AJEBLI, M.; EDDOUKS, M. Phytotherapy of hypertension: An updated overview. **Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets**, v. 20, 27 dez. 2019.

ALAQEEL, N. K. Antioxidants from different *Citrus* peels provide protection against cancer. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e271619, 7 jul. 2023.

AMBROSIO, C. M. S. *et al.* Chemical Composition and Antibacterial and Antioxidant Activity of a *Citrus* Essential Oil and Its Fractions. **Molecules**, v. 26, n. 10, p. 2888, 13 maio 2021.

ATANASOV, A. G. *et al.* Natural products in drug discovery: advances and opportunities. **Nature Reviews Drug Discovery**, v. 20, n. 3, p. 200–216, 28 jan. 2021.

BARKAT, M. A. *et al.* Herbal Medicine: Clinical Perspective & Regulatory Status. **Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening**, v. 23, n. 10, p. 1573–1582, 10 nov. 2020.

BARON, G. *et al.* Analytical Profile and Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of the Enriched Polyphenol Fractions Isolated from Bergamot Fruit and Leave. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 141, 20 jan. 2021.

BARTELLA, L. *et al.* Structural Characterization of Peripolin and Study of Antioxidant Activity of HMG Flavonoids from Bergamot Fruit. **Antioxidants**, v. 11, n. 10, p. 1847, 20 set. 2022.

- BOJIĆ, M. *et al.* Antithrombotic activity of flavonoids and polyphenols rich plant species. **Acta Pharmaceutica**, v. 69, n. 4, p. 483–495, 1 dez. 2019.
- BORA, H. *et al.* *Citrus* Essential Oils (CEOs) and Their Applications in Food: An Overview. **Plants**, v. 9, n. 3, p. 357, 11 mar. 2020.
- BRASIL. **Informações Sistematizadas da Relação Nacional de plantas medicinais de interesse ao sus - *Ruta graveolens* L., Rutaceae – Arruda**. [s.l.] Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://fitoterapiabrasil.com.br/sites/default/files/documentos-oficiais/ruta_graveolens_2021.pdf>.
- BÜNTZEL, C. *et al.* Phytotherapie in der Uroonkologie. **Die Urologie**, v. 62, n. 1, p. 3–10, 29 nov. 2022.
- BUSSMANN, A. J. C. *et al.* The *Citrus* flavanone naringenin attenuates zymosan-induced mouse joint inflammation: induction of Nrf2 expression in recruited CD45+ hematopoietic cells. **Inflammopharmacology**, v. 27, n. 6, p. 1229–1242, 5 jan. 2019.
- CAPUTO, L. *et al.* Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils from Peels of Three *Citrus* Species. **Molecules**, v. 25, n. 8, p. 1890, 19 abr. 2020.
- CAUTELA, D.; VELLA, F. M.; LARATTA, B. The Effect of Processing Methods on Phytochemical Composition in Bergamot Juice. **Foods**, v. 8, n. 10, p. 474, 11 out. 2019.
- CEBI, N.; ERARSLAN, A. Determination of the Antifungal, Antibacterial Activity and Volatile Compound Composition of *Citrus bergamia* Peel Essential Oil. **Foods**, v. 12, n. 1, p. 203, 3 jan. 2023.
- CIRMI, S. *et al.* A Flavonoid-Rich Extract of Mandarin Juice Counteracts 6-OHDA-Induced Oxidative Stress in SH-SY5Y Cells and Modulates Parkinson-Related Genes. **Antioxidants**, v. 10, n. 4, p. 539–539, 30 mar. 2021.
- DOSOKY, N.; SETZER, W. Biological Activities and Safety of *Citrus spp.* Essential Oils. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 7, p. 1966, 5 jul. 2018.
- EBANI, V. *et al.* Chemical Composition and In Vitro Antimicrobial Efficacy of Sixteen Essential Oils against *Escherichia coli* and *Aspergillus fumigatus* Isolated from Poultry. **Veterinary Sciences**, v. 5, n. 3, p. 62, 25 jun. 2018.
- ERB, M.; KLIEBENSTEIN, D. J. Plant Secondary Metabolites as Defenses, Regulators, and Primary Metabolites: The Blurred Functional Trichotomy. **Plant Physiology**, v. 184, n. 1, p. 39–52, 7 jul. 2020.
- FALZON, C. C.; BALABANOVA, A. Phytotherapy. **Primary Care: Clinics in Office Practice**, v. 44, n. 2, p. 217–227, jun. 2017.
- FAMBUENA, M. *et al.* Genetic inhibition of flowering differs between juvenile and adult *Citrus* trees. **Annals of Botany**, v. 123, n. 3, p. 483–490, 4 out. 2018.
- FERLAZZO, N. *et al.* Neuroprotective Effect of Bergamot Juice in 6-OHDA-Induced SH-SY5Y Cell Death, an In Vitro Model of Parkinson’s Disease. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 4, p. 326, 5 abr. 2020.
- FORMISANO, C. *et al.* Detailed Phytochemical Characterization of Bergamot Polyphenolic Fraction (BPF) by UPLC-DAD-MS and LC-NMR. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 11, p. 3159–3167, 26 fev. 2019.
- GAIRE, B. P. Herbal Medicine in Ischemic Stroke: Challenges and Prospective. **Chinese Journal of Integrative Medicine**, v. 24, n. 4, p. 243–246, abr. 2018.

- GIUFFRÈ, A. Bergamot (*Citrus bergamia*, Risso): The Effects of Cultivar and Harvest Date on Functional Properties of Juice and Cloudy Juice. **Antioxidants**, v. 8, n. 7, p. 221, 12 jul. 2019.
- GONZÁLEZ-MAS, M. C. *et al.* Volatile Compounds in *Citrus* Essential Oils: A Comprehensive Review. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 5 fev. 2019.
- GOVINDARAJ, A. *et al.* Green synthesis, characterization, and antibacterial activity of *Citrus lanatus* based silver nanoparticles. **Bioinformation**, v. 19, n. 4, p. 403–406, 30 abr. 2023.
- GUO, M. *et al.* Herbal Medicine Nanocrystals: A Potential Novel Therapeutic Strategy. **Molecules**, v. 28, n. 17, p. 6370–6370, 31 ago. 2023.
- IBEAS, D. G. *et al.* Shaping the biology of *Citrus*: I. Genomic determinants of evolution. **The plant genome**, v. 14, n. 3, 18 jul. 2021.
- IBRAHIM, F. *et al.* Antidiabetic Potentials of *Citrus aurantifolia* Leaf Essential Oil. **Drug Research**, v. 69, n. 04, p. 201–206, 1 out. 2018.
- JUNIOR, C. M. S. *et al.* Coumarins from Rutaceae: Chemical diversity and biological activities. **Fitoterapia**, v. 168, p. 105489, 1 jul. 2023.
- KAUR, H. *et al.* Genome-wide identification and characterization of flowering genes in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck: a comparison among *C. Medica* L., *C. Reticulata* Blanco, *C. Grandis* (L.) Osbeck and *C. Clementina*. **BMC Genomic Data**, v. 25, n. 1, 20 fev. 2024.
- KUFS, J. E. *et al.* The potential of amoeba-based processes for natural product syntheses. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 77, p. 102766–102766, 1 out. 2022.
- LEE, M. *et al.* Systems pharmacology approaches in herbal medicine research: a brief review. **BMB Reports**, v. 55, n. 9, p. 417–428, 30 set. 2022.
- LEO, M. *et al.* Protective Effects of Bergamot (*Citrus bergamia* Risso & Poiteau) Juice in Rats Fed with High-Fat Diet. **Planta Medica**, v. 86, n. 03, p. 180–189, 11 dez. 2019.
- LI, Y. *et al.* The Chemical Composition and Antibacterial and Antioxidant Activities of Five *Citrus* Essential Oils. **Molecules**, v. 27, n. 20, p. 7044, 19 out. 2022.
- LIN, M. *et al.* Comparative study on secondary metabolites from different *Citrus* varieties in the production area of Zhejiang. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 11 maio 2023.
- LOMBARDO, G. E. *et al.* Mechanisms Underlying the Anti-Inflammatory Activity of Bergamot Essential Oil and Its Antinociceptive Effects. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 704, 1 jun. 2020.
- LU, X. *et al.* Nutrients and bioactives in *Citrus* fruits: Different *Citrus* varieties, fruit parts, and growth stages. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–24, 5 out. 2021.
- MAIUOLO, J. *et al.* Protective Role of an Extract Waste Product from *Citrus bergamia* in an In Vitro Model of Neurodegeneration. **Plants**, v. 12, n. 11, p. 2126–2126, 27 maio 2023.
- MARCHESE, E. *et al.* Bergamot essential oil nanoemulsions: antimicrobial and cytotoxic activity. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 75, n. 7-8, p. 279–290, 22 jun. 2020.
- MAUGERI, A. *et al.* The link between the AMPK/SIRT1 axis and a flavonoid-rich extract of *Citrus bergamia* juice: A cell-free, in silico, and in vitro study. **Phytotherapy Research**, v. 33, n. 7, p. 1805–1814, 15 maio 2019.

- MAUGERI, A. *et al.* The Anticancer Effect of a Flavonoid-Rich Extract of Bergamot Juice in THP-1 Cells Engages the SIRT2/AKT/p53 Pathway. **Pharmaceutics**, v. 14, n. 10, p. 2168, 11 out. 2022.
- MESEJO, C. *et al.* Reversion of fruit-dependent inhibition of flowering in *Citrus* requires sprouting of buds with epigenetically silenced *CcMADS19*. **New phytologist**, v. 233, n. 1, p. 526–533, 1 set. 2021.
- MENDES, K. D. S. *et al.*, Uso de gerenciador de referências bibliográficas na seleção dos estudos primários em revisão integrativa. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 28, 2019.
- MICALE, N. *et al.* Natural Product-Based Hybrids as Potential Candidates for the Treatment of Cancer: Focus on Curcumin and Resveratrol. **Molecules**, v. 26, n. 15, p. 4665–4665, 31 jul. 2021.
- MILES, E. A.; CALDER, P. C. Effects of *Citrus* Fruit Juices and Their Bioactive Components on Inflammation and Immunity: A Narrative Review. **Frontiers in Immunology**, v. 12, 24 jun. 2021.
- NAUMAN, M.; J. JOHNSON, J. Clinical application of bergamot (*Citrus bergamia*) for reducing high cholesterol and cardiovascular disease markers. **Integrative Food, Nutrition and Metabolism**, v. 6, n. 2, 2019.
- NAVARRA, M. *et al.* *Citrus bergamia* essential oil: from basic research to clinical application. **Frontiers in Pharmacology**, v. 6, n. 36, 2 mar. 2015.
- OLAS, B. A review of in vitro studies of the anti-platelet potential of *Citrus* fruit flavonoids. **Food and Chemical Toxicology**, v. 150, p. 112090, abr. 2021.
- PENG, Y. *et al.* Regulatory mechanism and therapeutic potentials of naringin against inflammatory disorders. **Heliyon**, v. 10, n. 3, p. e24619–e24619, 1 fev. 2024.
- PEREIRA, C. *et al.* Polymethoxylated Flavones Target Cancer Stemness and Improve the Antiproliferative Effect of 5-Fluorouracil in a 3D Cell Model of Colorectal Cancer. **Nutrients**, v. 11, n. 2, p. 326, 2 fev. 2019.
- PIRANI, J.; LEITE, J.; MENEZES, N. Morfoanatomia da flor de cinco espécies de *Galipea Aubl.* e seu significado na evolução de flores tubulosas entre as Rutaceae neotropicais. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, n. 2, p. 301–318, 1 jun. 2010.
- POZZO, E. *et al.* Antioxidant and Antisenescence Effects of Bergamot Juice. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, p. 1–14, 12 jul. 2018.
- PYRZYNSKA, K. Hesperidin: A Review on Extraction Methods, Stability and Biological Activities. **Nutrients**, v. 14, n. 12, p. 2387, 9 jun. 2022.
- QUIRINO, A. *et al.* Synergistic and antagonistic effects of *Citrus bergamia* distilled extract and its major components on drug resistant clinical isolates. **Natural Product Research**, v. 34, n. 11, p. 1626–1629, 22 dez. 2018.
- QUIRINO, A. *et al.* *Citrus bergamia*: Kinetics of Antimicrobial Activity on Clinical Isolates. **Antibiotics**, v. 11, n. 3, p. 361, 1 mar. 2022.
- RAPISARDA, A.; GERMANÒ, M. *Citrus × bergamia* Risso & Poiteau botanical classification, morphology and anatomy. **Citrus bergamia bergamot and its derivatives**, v. 51, p. 9–11, 1 jan. 2013.
- REMIGANTE, A. *et al.* Mechanisms underlying the anti-aging activity of bergamot (*Citrus bergamia*) extract in human red blood cells. **Frontiers in Physiology**, v. 14, 30 jun. 2023.

- RIBEIRO, C. *et al.* The transcriptome landscapes of *Citrus* leaf in different developmental stages. **Plant Molecular Biology**, v. 106, 19 abr. 2021.
- RUSSO, C. *et al.* Bergamot Byproducts: A Sustainable Source to Counteract Inflammation. **Nutrients**, v. 16, n. 2, p. 259–259, 15 jan. 2024.
- SAINI, R. K. *et al.* Bioactive Compounds of *Citrus* Fruits: A Review of Composition and Health Benefits of Carotenoids, Flavonoids, Limonoids, and Terpenes. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, p. 239, 26 jan. 2022.
- SIANO, F. *et al.* Monitoring antioxidants by coulometry: Quantitative assessment of the strikingly high antioxidant capacity of bergamot (*Citrus bergamia* R.) by-products. **Talanta**, v. 251, p. 123765–123765, 1 jan. 2023.
- SILVA, B. N. *et al.* Meta-Analysis of In Vitro Antimicrobial Capacity of Extracts and Essential Oils of *Syzygium aromaticum*, *Citrus L.* and *Origanum L.*: Contrasting the Results of Different Antimicrobial Susceptibility Methods. **Foods**, v. 12, n. 6, p. 1265, 1 jan. 2023.
- SINGH, B. *et al.* Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of *Citrus* peel. **Food Research International**, v. 132, p. 109114, jun. 2020.
- SINGH, B. *et al.* Insights into the chemical composition and bioactivities of *Citrus* peel essential oils. **Food Research International**, v. 143, p. 110231, 1 maio 2021.
- TSIOKANOS, E. *et al.* Phytochemical characteristics of bergamot oranges from the Ionian islands of Greece: A multi-analytical approach with emphasis in the distribution of neohesperidose flavanones. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128400, maio 2021.
- VEDOVA, L. D. *et al.* Chemical, Nutritional and Biological Evaluation of a Sustainable and Scalable Complex of Phytochemicals from Bergamot By-Products. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 28, n. 7, p. 2964, 26 mar. 2023.
- VELASCO, R.; LICCIARDELLO, C. A genealogy of the *Citrus* family. **Nature Biotechnology**, v. 32, n. 7, p. 640–642, jul. 2014.
- WANG, G.-H. *et al.* Biological Activities of *Citrus aurantium* Leaf Extract by Optimized Ultrasound-Assisted Extraction. **Molecules**, v. 28, n. 21, p. 7251, 1 jan. 2023.
- WANG, X. *et al.* Genomic analyses of primitive, wild and cultivated *Citrus* provide insights into asexual reproduction. **Nature Genetics**, v. 49, n. 5, p. 765–772, 1 maio 2017.
- WANG, Y. *et al.* *Citrus* flavonoids and their antioxidant evaluation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 14, p. 3833–3854, 12 jan. 2021.
- WU, G. A. *et al.* Genomics of the origin and evolution of *Citrus*. **Nature**, v. 554, n. 7692, p. 311–316, 1 fev. 2018.
- ZHANG, J. *et al.* Traditional herbal medicine and nanomedicine: Converging disciplines to improve therapeutic efficacy and human health. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 178, p. 113964, nov. 2021.
- ZIBAE, E. *et al.* *Citrus* species: A Review of Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacology. **Current Pharmaceutical Design**, v. 26, n. 1, p. 44–97, 25 fev. 2020.

ESTUDO DA FEBRE: FISIOPATOLOGIA E ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Data de submissão: 03/12/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Luan Nascimento Mesquita

Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – Pará
<https://orcid.org/0000-0003-3995-4189>

Brenda Pinto de Moraes

Universidade da Amazônia (UNAMA)
Belém – Pará
<https://orcid.org/0000-0002-2088-6334>

João Batista Chaves Silva

Universidade do Estado do Pará (UEPA)
Belém – Pará
<http://orcid.org/0000-0001-8499-4943>

Herika dos Santos Anijar

Escola Superior da Amazônia (ESAMAZ)
Belém – Pará
<https://orcid.org/0000-0002-4142-6716>

Ana Carolina Figueiredo Bouth

Centro Universitário do Pará (CESUPA)
Belém - Pará
<https://lattes.cnpq.br/4092281477968713>

Daniele Carvalho Miller

Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – Pará
<https://orcid.org/0000-0001-9771-1877>

RESUMO: Antecedentes: O domínio da fisiopatologia da pirexia é essencial para o desenvolvimento de medicamentos naturais antipiréticos. Objetivo: elucidar os mecanismos fisiológicos, celulares, imunológicos e neurocientíficos envolvidos na pirexia de forma experimental. Metodologia: Trata-se de uma Revisão de Literatura, com base do acrônimo TQO e incluindo as bases de dados Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), Capes Periódicos, *Google Scholar*, *Embase*, *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE)*, *Science Direct* e *Scopus*. Utilizou-se como descritores termos de interesse encontrados no *Medical Subject Headings (MeSH)* e no Descritores das Ciências da Saúde (DeCS). Resultados e Discussão: a febre consiste na congregação de mecanismos naturais induzidos a partir de condições fisiológicas, celulares, bioquímicas e neurocientíficas em pesquisas de desenvolvimento de medicamentos naturais antipiréticos. Conclusão: a pesquisa experimental da pirexia é baseada no desenvolvimento do conhecimento a cerca das ciências da saúde e biológicas na constituição de medicamentos naturais e reduzindo as Reações e Interações Medicamentosas (RAMs e IMs, respectivamente).

PALAVRAS-CHAVE: Pirexia; Neurociência; Pesquisa Biomédica; Fisiopatologia; Óleo Essencial

FEVER STUDY: PATHOPHYSIOLOGY AND EXPERIMENTALS ANALYSES

ABSTRACT: Background: Mastery of the pathophysiology of pyrexia is essential for the development of natural antipyretic medicines. Objective: to elucidate the physiological, cellular, immunological and neuroscientific mechanisms involved in pyrexia in an experimental way. Methodology: This is a Literature Review, based on the acronym TQO and including the Virtual Health Library (VHL), Capes Periódicos, Google Scholar, Embase, Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE), Science Direct and Scopus databases. Terms of interest found in the Medical Subject Headings (MeSH) and Health Sciences Descriptors (DeCS) were used as descriptors. Results and Discussion: Fever consists of the congregation of natural mechanisms induced from physiological, cellular, biochemical and neuroscientific conditions in research for the development of natural antipyretic medicines. Conclusion: experimental pyrexia research is based on the development of knowledge about health and biological sciences in the constitution of natural medicines and reducing Drug Reactions and Interactions (ADRs and IMs, respectively).

KEYWORDS: Pyrexia; Neuroscience; Biomedical Research; Pathophysiology; Essential oil

INTRODUÇÃO

A febre, hipertemia ou pirexia é um sinal clínico que consiste na elevação da temperatura corporal acima dos valores normais, o qual está na faixa entre 37 e 38 °C, por fatores naturais adaptativas e sistêmicas a um evento de perturbação fisiológica (Spencer, 2015; Souza *et al.*, 2021). Epidemiologicamente, afeta, especialmente, pacientes pediátricos, correspondendo cerca de 20 a 40% das queixas referidas pelos pais nos serviços de saúde (Souza *et al.*, 2021; Peixoto; Machado, 2023; Pitoli *et al.*, 2021).

Esse quadro clínico detém funções essenciais benéficos e terapêuticos na forma de aumento da resposta imune por estimular tanto a resposta imune inata quanto a adaptativa gerando uma restauração do estado de saúde (Peixoto; Machado, 2023; Pitoli *et al.*, 2021). A pirexia vem ser classificado não só, etiologicamente, como viral ou bacteriana, mas também a febril (igual ou superior a 37,8°C) e subfebril (temperaturas entre 37°C e 37,7°C) pelo grau de temperatura (Souza *et al.*, 2021).

Com relação ao tratamento da hipertemia, de caráter não farmacologicamente, por métodos físicos na forma do consumo de líquidos e de remoção de excesso de roupas e o farmacológico por meio do uso de antipiréticos (Souza *et al.*, 2021; Peixoto; Machado, 2023).

As compreensões dos mecanismos fisiopatológicos da febre são essenciais para a pesquisa experimental para o desenvolvimento de fármacos antipiréticos da biodiversidade local. Decerto, o presente estudo secundário busca elucidar os mecanismos fisiológicos, celulares, imunológicos e neurocientíficos envolvidos na pirexia de forma experimental.

METODOLOGIA

Trata-se de uma Revisão de Literatura (RL) (Andrade, 2021). A RL é um desenho de estudo secundário que fornece uma fonte de bibliográfica relevante para construção e divulgação do conhecimento científico com função de atualização na medida que busca fornecer aos profissionais, de qualquer área, o desenvolvimento corrente da ciência ajudando-os a direcioná-los a estudos primários de melhor qualidade científica sobre o tema (Andrade, 2021; Dorsa, 2020; Alves *et al.*, 2022).

A estratégia de pesquisa foi estruturada através do mnemônico T (Tema), Q (Qualificador) e O (Objetivo) (Araújo, 2020), sendo T: Febre, Q: Estudo e O: Fisiopatologia e Análise Experimental.

A pesquisa de dados foi feita na Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), Capes Periódicos, *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *Scopus* e *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online (MEDLINE)*. As palavras-chave usadas foram combinadas com os operadores booleanos AND e OR na busca, sendo *Fever*; *Research*; *Physiology*; *Natural Products* foram usados nas buscas. Os termos de busca estão indexados no *Medical Subject Headings (MeSH)* e no Descritores das Ciências da Saúde (DeCS).

Utilizou-se como critérios de inclusão artigos relacionados à temática proposta, publicados nos idiomas português, espanhol e inglês, de acesso aberto, revisado por pares e no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2023. Foram excluídos trabalhos que fossem duplicatas e de acesso fechado.

Em relação à seleção e triagem de dados, títulos e resumos, selecionados de acordo com critérios de inclusão e exclusão, análises de viés e de estatística foram importados para o gerenciador de referência *Mendeley*®. Os estudos completos recuperados foram exportados para a Plataforma *Rayyan*®, sendo selecionados de forma independente e cego pelos autores no aplicativo de Revisão e de Metanálise. As discordâncias foram resolvidas consensualmente entre os autores. Os dados foram organizados em planilhas do *Microsoft Excel*®. Para extração de dados de artigos, um formulário de extração foi usado para organizar os seguintes dados da RL: nomes de artigos e autores, revista e ano de publicação, objetivo do estudo, desenho do estudo, métodos estatísticos usados, tipos de intervenções avaliadas, resultados, avaliação de qualidade e de vieses, inclusão de países, análise de subgrupos e contribuição do estudo, perguntas não respondidas, lacunas de trabalho, conflito de interesse, limitação do estudo, citação e referência do artigo, além do uso de referência atualizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

TERMORREGULAÇÃO E O ENVOLVIMENTO DOS RECEPTORES DE POTENCIAL TRANSITÓRIO (TRP)

A termorregulação é um sistema complexo composto por neurônios somatossensoriais, que se interligam aos neurônios termorreceptores, termossensores e efetores, os quais inervam a pele humana e os órgãos internos para detecção de temperaturas ambientais externas que são interpretadas como “frio” e “calor” através do centro termorregulador hipotalâmico - que funciona como “termostato” natural através das áreas pré-óptica e a porção anterior do hipotálamo os quais mediam as informações de *Feedback* e de *Feedforward* para controlar a temperatura interna corporal também, o que garante a sobrevivência da espécie humana, além de está diretamente relacionado ao controle aos ciclos de sono-vigília e hormonal feminino, por exemplo como mostrado na imagem 2 (Uchida; Izumizaki, 2021; Lamas *et.al*, 2019; Thomaz *et.al*, 2021; Siemens *et.al*, 2018; Tan *et al.*, 2018).

Esse sistema complexo somatossensorial é mediada por duas vias (autônoma/involuntária e voluntária/comportamental) do Sistema Nervoso Central (SNC), ilustrado na imagem 2, os quais compartilham os mesmos sensores nervosos para identificar as alterações da homeostasia térmica por via aferente e eferente na qual a via involuntária inicia-se por via aferente do sistema nervoso central os quais são integrados a vetores térmicos como vasculatura cutânea, glândulas sudoríparas, músculo esquelético e tecido adiposo para dissipação, conservação e geração de calor corporal. Enquanto a via comportamental, compreende a capacidade do ser humano adaptar-se às condições térmicas por meio de decisões conscientes para defender ou restaurar o equilíbrio calorífico (Flouris, 2019).

Dentre os principais termosensores humanos que coordenam as atividades das vias autônoma e comportamental, há os Canais Iônicos de Potencial Receptor Transitório (TRP), representados na imagem 1, que são proteínas catiônicas não seletivas, que estão na forma de tetrâmeros permeáveis ao íon Cálcio, os quais são responsáveis pela termossensibilidade e se localização na superfície das células do subconjunto dos nervos sensoriais periféricos de pequeno diâmetro do sistema somatossensorial que inervam todos os tecidos do corpo que respondem a uma faixa de temperatura específica gerando a sensação de frio (ocasionada por dois canais - TRPA1 <18°C e TRPM8 na faixa de 25 a 15 °C) e calor (gerado pelos quatro canais - TRPV1 >43°C, TRPV2 >52°C, TRPV3 >34°C e TRPV4 >27°C) e mesmo com pequenas variações, devido ser 25 vezes mais sensíveis do que os demais canais iônicos do mesmo caráter, além de ser agrupado em 7 grandes subfamílias: TRPA (anquirina), TRPC (canônico), TRPML (mucopolipina), TRPM (melastatina), TRPN (NOMPC), TRPP (policistina) e TRPV (vanilóide). Esses receptores detêm interesses farmacológicos no controle de dores, infecções virais e na febre como os agonistas do TRPV1, além de doenças crônicas como *Diabetes mellitus* Tipo II, Distúrbios do Trato Urinário e Dor Neuropática (Flouris, 2019; Lamas *et.al*, 2019; Gama *et.al*, 2020;

Dhakal; Lee, 2019; Kashio; Tominaga, 2017; Voets *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2021). Fisiologicamente, conforme o FLOURIS (2019), os nervos TRP enviam sinais para a lâmina I (corno dorsal superficial da medula espinhal), através de fibras C não mielinizadas de condução lenta de pequeno diâmetro (em TRPs sensíveis ao calor) ou através de fibras do Tipo As maiores, de condução rápida e finamente mielinizadas (em TRPs sensíveis ao frio). Por sua vez, os neurônios de saída da lâmina I retransmitem seus sinais termoaférentes para o tronco cerebral. Uma vez que os sinais específicos da temperatura atingem o tronco cerebral, a informação é difundida para uma rede amplamente distribuída de *loci* cerebrais que provavelmente participam dos processos multifacetados (isto é, autonômicos e comportamentais) relacionados à termorregulação.

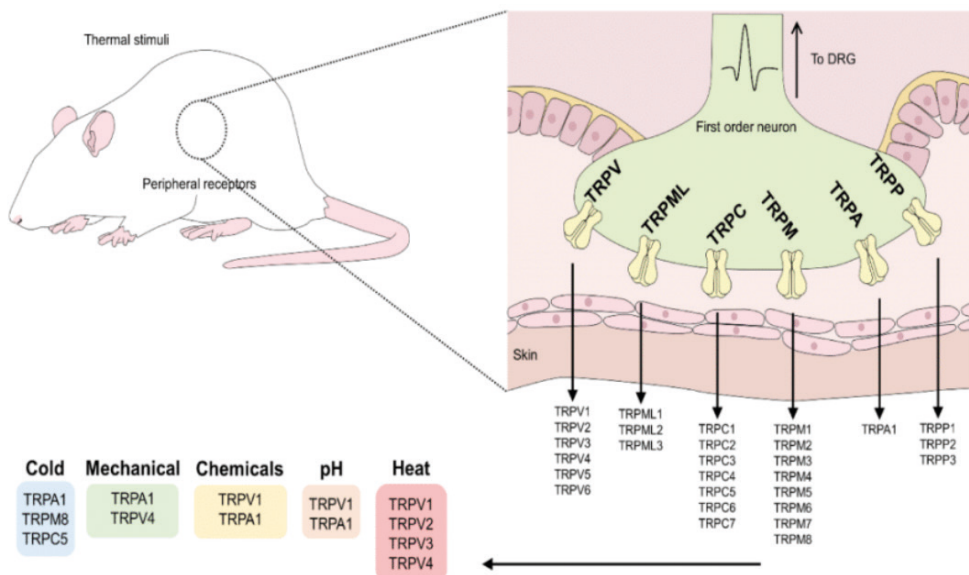


Imagem 1: Canais iônicos de Potencial Receptor Transitório de Roedores e as Subfamílias de roedores

Fonte: Lezama – García *et al.*, 2022

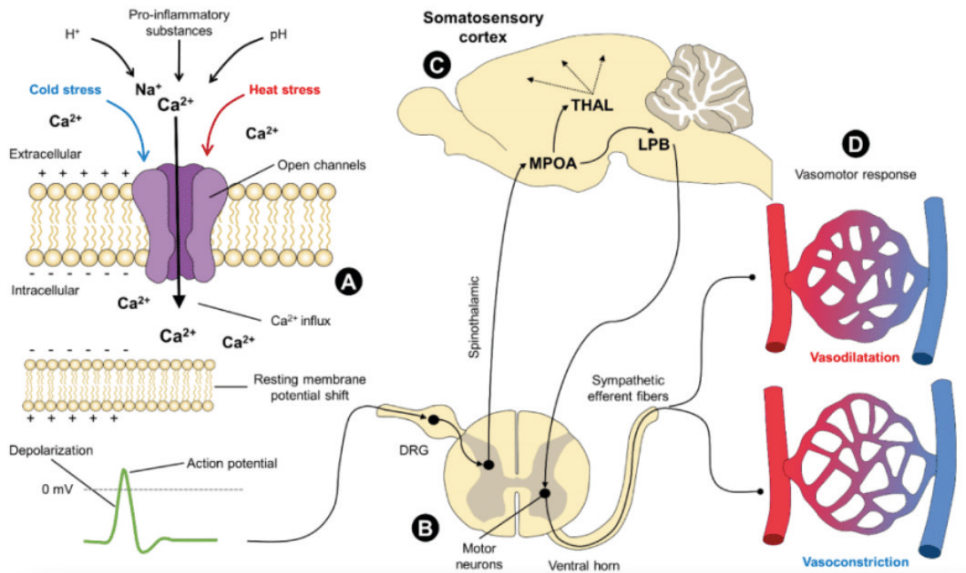


Imagem 2: Atividade Neurofisiológica dos Canais Iônicos de Potencial Receptor Transitório de Roedores

Fonte: Lezama – García *et al.*, 2022

PIRÓGENOS ENDÓGENOS E PGE2 NA FEBRE

Os Pirógenos Endógenos (EPs) são substâncias reconhecidas capazes de produzir febre endógena (febrigênica) que são Fator de Necrose Tumoral Alfa (TNF - α), Interleucina 6 (IL-6), Interleucina 8 (IL-8) e Interferon Gama (IFN- γ), além de genes controladores dos pirógenos endógenos com destaque ao Fator Nuclear Kappa B (NF- κ B) e proteínas como a Proteína Ativadora 1 (AP-1) como representado na imagem 4. Essas substâncias promotoras da febre tendem a ser citocinas, peptídeos e hormônios os quais mediam a resposta febril atuando no centro termorregulador hipotalâmico (Alvarenga, 2019; Donoso; Arriaga, 2018). Há entre os EPs, a Prostaglandina E2 (PGE2), representado na imagem 5, que é um mediador lipídico liberado durante processos inflamatórios, na febre, no inchaço e na dor em que tem a sua modulação realizada pela iNOS e COX-2 que estimula as vias de sinalização de NF- κ B e MAPKs para qual há secreção do lipídio que causa vasodilatação e aumento da permeabilidade vascular permitindo um aumento na concentração de leucócitos circulantes periféricos (macrófagos e monócitos) e residentes (células de Kupffer) que liberam pirógenos endógenos através da estimulação por padrões moleculares associados a patógenos (PAMP), conforme a imagem 3, nos receptores de reconhecimento de padrões ou *Toll-like* geram uma intercomunicação imunoneural, via receptores vagais (núcleo do trato tronco encefálico solitário), na barreira hematoencefálica e nos órgãos circunventriculares, especificamente, no órgão vasculoso da lâmina terminal (OVLT), núcleo pré-óptico do hipotálamo (Shi *et al.*, 2022; Lorencetti-Silva *et al.*, 2019; Eslami *et al.*, 2019; Donoso; Arriaga, 2019).

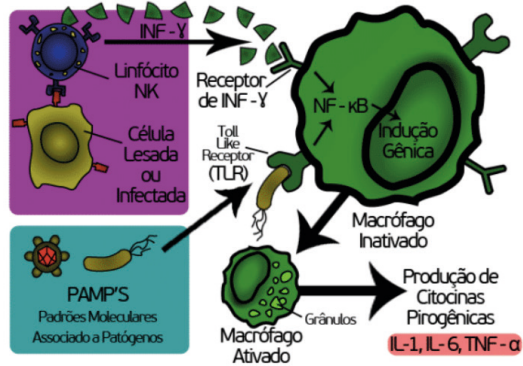


Imagem 3: Mecanismo de Ativação Celular dos Pirógenos por Agentes Exógenos

Fonte: Oliveira, 2014

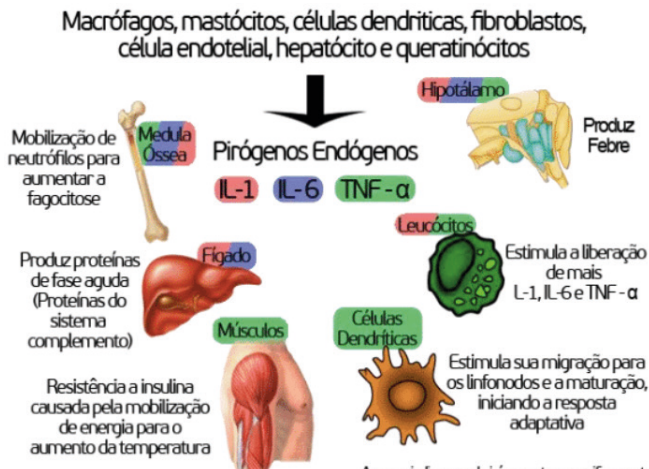


Imagem 4: Ação dos Pirógenos Endógenos na Fisiologia

Fonte: Oliveira, 2014

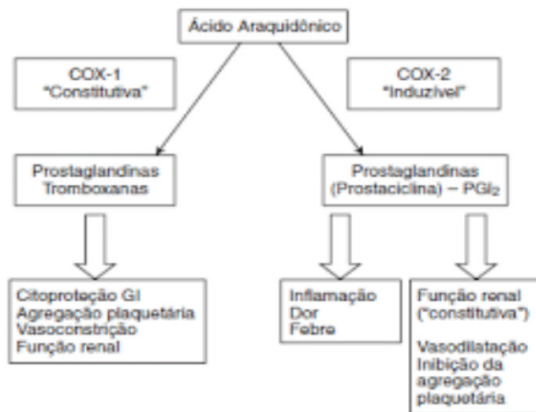


Imagem 5: Da Origem e Ação das Prostaglandinas

Fonte: Reginato; Barreto; Resende, 2021

VIA SIMPÁTICA EFERENTE COMO EFETORA DA FEBRE E NEUROTRANSMISSORES ATUANTES

A via simpática eferente compreende uma rede central neuronal, que integrado a termorreceptores, avaliam e respondem as possíveis ameaças térmicas eminentes da temperatura central do corpo humano na forma de termogênese. Esse mecanismo homeostático, dá-se através da estimulação não só do Tecido Adiposo Marrom (BAT) como também no músculo esquelético na forma de tremores por meio da via GABAérgica descendente que afeta os termorreceptores cutâneos em que transmitem a informação à área pré-óptica (POA) chegando a saídas excitatórias e inibitórias para os neurônios promotores da termogênese localizados nas regiões dorso medial e dorsal do hipotálamo (DMH e DA, respectivamente). Quando os neurônios DMH e DA proporcionam impulsos eletrofisiológicos distintos para os neurônios pré-motores e os pré-motores do músculo esquelético na Rafe Pálida Rostral (rRPa) os quais projetam-se, respectivamente, para os neurônios pré-ganglionares simpáticos (SPNs) no núcleo intermediolateral (IML) e para os motoneurônios alfa e gama no corno ventral (VH) do medula espinhal. O estímulo dessas SPNs excita as células ganglionares simpáticas, cuja liberação de norepinefrina nos adipócitos marrons e bege ativa as vias termogênicas intracelulares no resfriamento. E na febre, a prostaglandina E₂, que é sintetizado pelos pulmões e fígado quando circula na corrente sanguínea e atingem o sistema nervoso central, inibe as células nervosas GABAérgicas pré-ópticas desinibindo a via excitatória pré-óptica-rafe, atingindo o endotélio do órgão vascular da lâmina terminal rico em receptores de PGE₂, gerando a febre em resposta às infecções bacterianas ou virais que liberam as citocinas Fator de Necrose Tumoral Alfa, Interleucina-1 e Interferon Gama no Sistema Imunológico que detêm receptores estimuladores do processo termogênico como ilustrado pela imagem 6 (Morrison, 2018; Mcallen; Mckinley, 2018; Griton; Konsman, 2018).

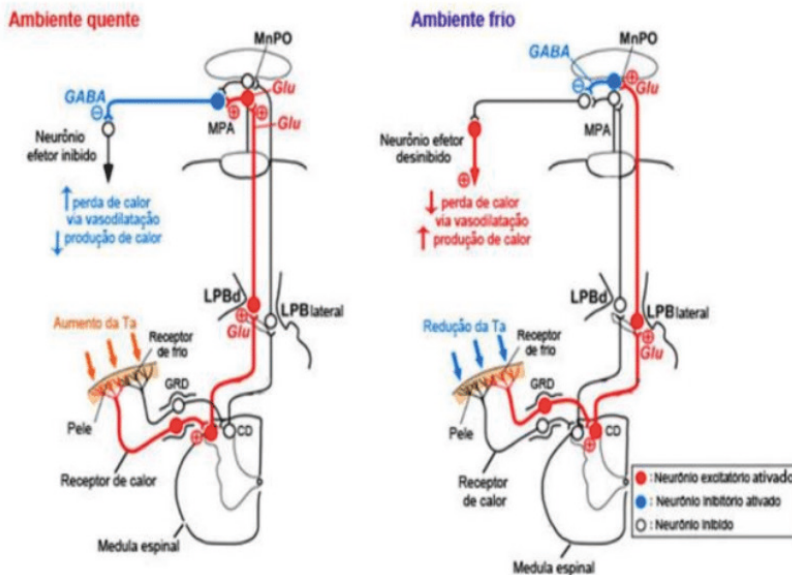


Imagem 6: Mecanismo de Ativação da Febre por Via Neuronal

Fonte: Scarpellini, 2016

TRANSMISSÃO E MODULAÇÃO DO SINAL INFLAMATÓRIO PERIFÉRICO PARA O CÉREBRO: VIAS HUMORAL E NEURONAL

O processo inflamatório, é o resultado de uma injúria tecidual, a partir da produção de mediadores, os quais provocam alterações bioquímicas, celulares e vasculares a fim de restaurar a homeostase. Esse processo fisiológico, dá-se por uma sensibilização retrógrada de neurotransmissores que afetam os neurônios aferentes na parte das terminações nervosas livres das fibras A-delta e C que compõe os nociceptores gerando uma redução do Ph intersticial mantendo, conseqüentemente, a sensibilidade dos nervos sensitivos por meio das prostaglandinas, os tromboxanos e as prostaciclina sintetizadas pela metabolização do ácido araquidônico, das células danificadas, por cicloxigenase (COX); os leucotrienos e lipoxinas por lipoxigenase e os produtos da via da epoxigenase através do Citocromo P450 (CYP 450). Além disso, a inflamação ativa a enzima proteolítica calicreína que atua sobre a α 2-globulina, liberando a calidina e convertida em bradicinina por enzimas teciduais provocando dilatação arteriolar e da permeabilidade capilar, contribuindo para a propagação da reação inflamatória. Ademais, os macrófagos e leucócitos produzem citocinas que atraem novas células imunológicas sintetizadoras e liberadoras de interleucina-1, 6, 8, fator de necrose tumoral, selectina, fatores quimiotáticos, óxido nítrico e substâncias oxidantes estimulando os receptores inflamatórios - receptores vaniloides (VR1). Enquanto, a substância P e a neurocinina vasodilatam a região inflamada, aumentando a permeabilidade vascular mantendo o processo inflamatório. Essa ativação em cascata dos mediadores inflamatórios (como moléculas de Padrões Moleculares Associados a Danos - DAMPS; Lipopolissacarídeos - LPS; LTA - Ácido Lipoteicóico; Tat: Transativador de Transcrição Viral; gp120: Glicoproteína 120) que sensibilizam as microglias homeostática que ativam uma resposta inflamatória no Sistema Nervoso Central (SNC) levando a febre, mal-estar e fadiga através da síntese de Óxido Nítrico (NO), Espécies Reativas de Oxigênio (EROs); Espécies Reativas de Nitrogênio (ERNs); Interleucina 1-beta/6/12 (IL-1 β /6/12); Fator de Necrose Tumoral Alfa/Beta (TNF- α / β); Interferon Gama (INF- γ); Prostaglandina E2 (PGE2); e Metalopeptidases de Matriz 1/9 (MMP - 1/9) como esquematizado na imagem 7 (Bagatini *et al.*, 2016; Freitas *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2020; Etienne *et al.*, 2021).

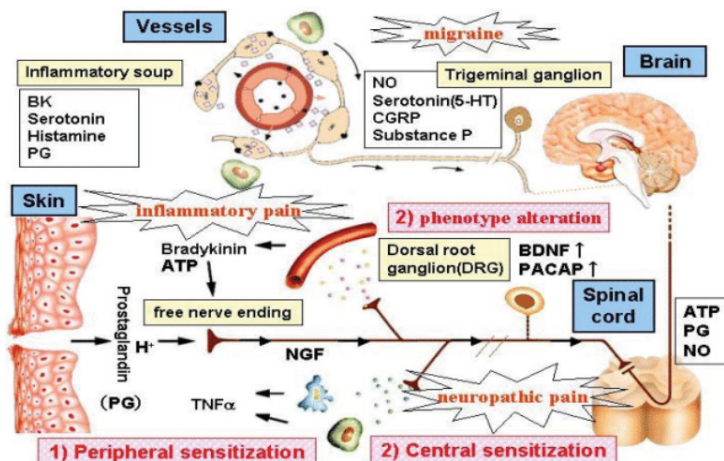


Imagem 7: Transmissão e Modulação da Dor

Fonte: Pereira, 2018

FEBRE: BENEFÍCIOS X RISCOS

Entre os benefícios da febre, há o mecanismo imunológico na qual estimula o sistema imunitário adaptativo e inibe a replicação do agente etiológico, conseqüentemente, aumentando a taxa de sobrevivência e de recuperação do indivíduo tornando-se um mecanismo evolutivo (Ferreira *et al.*, 2022; Donoso; Arriaga, 2019). Além disso, um forte indicativo de patologias (HIV/AIDS e Neutropenia) e de condições físicas dos Pacientes Idosos, Crianças, Adolescentes e Acamados como frequência cardíaca, respiratória, tempo de enchimento capilar, grau de hidratação, atividade e responsividade aos estímulos (Santana *et al.*, 2019). Contudo, nos aspectos negativos do mecanismo imunitário, é a febrefobia desenvolvida pelos responsáveis dos menores de 18 anos em relação à febre, a origem desconhecida da condição da temperatura corporal, taquicardia, aumento do débito cardíaco e consumo de oxigênio. Farmacologicamente, afeta a farmacocinética através da absorção, distribuição e eliminação de antibióticos (Santana *et al.*, 2019; Pitoli *et al.*, 2021; Donoso; Arriaga, 2019).

MECANISMO DE AÇÃO DOS ANTIPIRÉTICOS

Para o controle do estado de febre, febril ou hiperemia existem mecanismos de controle da homeostasia como remédios e de fármacos dos quais destacam-se os Anti-Inflamatórios Não-Esteroidais (AINES) que são antipiréticos (Toscano *et al.*, 2018). Esses medicamentos que controlam a temperatura corporal em desequilíbrio detêm como mecanismo a inibição da síntese e liberação de prostaglandinas no nível hipotalâmico, através do bloqueio das cicloxigenases (COX-1 e COX-2), que são consideradas pirógenos, exceto a I2 (Toscano *et al.*, 2018; Timoneda, 2017). Existe também antipiréticos endógenos (PrfA - Ativador Transcricional de Genes de Virulência, α -MSH - Hormônio Estimulador

de Melanócitos Alfa, Glicocorticóides e ACTH - Hormônio Adrenocorticotrófico) e citocinas endógenas (IL-1 RA - antagonista do receptor de IL-1; IL 10 - Interleucina - 10; e TNF- α -BP - receptor para fator de necrose tumoral alfa) que trabalham no equilíbrio térmico corporal como mostrado na imagem 8 (Donoso; Arriaga, 2019).

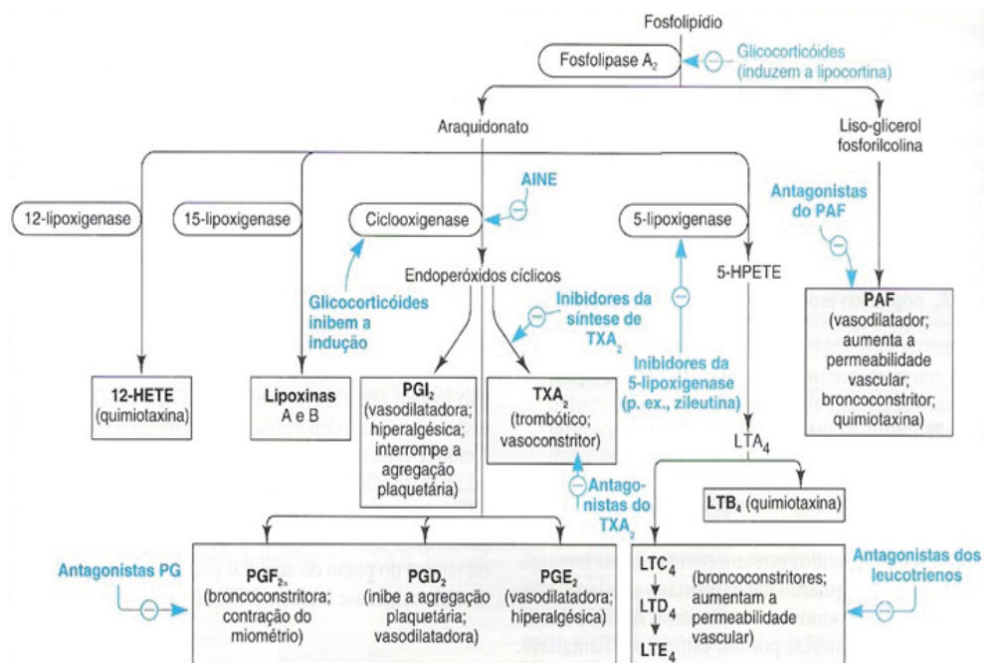


Imagem 8: Ação dos Antipiréticos na Cascata de Febre

Fonte: Analgésicos e Anti-inflamatórios (n.d.)

MODELOS DE ATIVIDADE ANTIPIRÉTICA EM MODELOS DE ANIMAIS: LEVEDO DE CERVEJA

No intuito de avaliar a atividade antipirética de fármacos, faz-se necessário que o teste experimental obedeça determinados critérios para uma boa atividade pirogênica dos modelos experimentais em animais como ser alto e detectável, início imediato para reduzir o tempo do experimento e do desconforto dos animais, tempo suficiente para permitir manipulações farmacológicas e sensibilidade aos antitérmicos clássicos considerados eficazes. Atendendo essa expectativa experimental, o levedo de cerveja (*Saccharomyces cerevisiae*) atende a essas condições através do preparo da solução de levedo, a manutenção e o ciclo circadiano dos espécimes usados no teste experimental, medição da temperatura retal basal, durante e depois da aplicação peritoneal para estímulo da febre e, por fim, uma boa análise estatística (Tomazetti *et al.*, 2005).

Os protocolos experimentais com levedo de *S. cerevisiae* com camundongos suíços (camundongos *Swiss*) consistem, primeiramente, em selecionar e randomizar os camundongos machos, albinos e adultos (suíços ou *swiss*), além de aferir a temperatura retal e escolher os roedores com temperatura de 36,5°C-37,5°C. Em seguida, é aplicado por via subcutânea - na forma de suspensão de levedo de cerveja em solução salina (ou água destilada) - na região da subcutânea, das costas ou no dorso abaixo da nuca, dentro das concentrações de 15 % (em água destilada), 20 % e 30 % (em solução salina), sendo que 15% e 20 % na região subcutânea no dorso abaixo da nuca, nas doses de 10 mg/mL e 20 mg/mL - respectivamente, e 30 % aplicada subcutaneamente nas costas na dose 1 ml/100 g. Depois de 18 h após a aplicação subcutânea da suspensão de levedo, verifica-se e anotar-se a temperatura retal e, depois de 30 minutos, medi-la novamente para incluir os camundongos com variação de temperatura de 0,3 °C a 0,8 °C para o determinado estudo experimental em grupos. Posteriormente, aplica-se em um grupo controle somente solução salina ou água destilada em jejum, enquanto os demais grupos com agentes antipiréticos padrões (Acetaminofeno - 150 mg/Kg; Aspirina - 200 mg/Kg; Paracetamol 50 mg/Kg; e Indometacina - 10 mg/Kg, por exemplo) e dos possíveis candidatos a fármacos nas proporções 50, 100 e 200 mg/Kg; 125, 250 e 500 mg/Kg ou 100, 200 e 400 mg/Kg. *A posteriori*, a temperatura retal é mensurada de 1 em 1 hora por até 24 h, representado na imagem 9 (Rahaman *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2020; Kundu *et al.*, 2022; Javed *et al.*, 2020; Emon *et al.*, 2021; Sobeh *et al.*, 2019; Osman *et al.*, 2017).

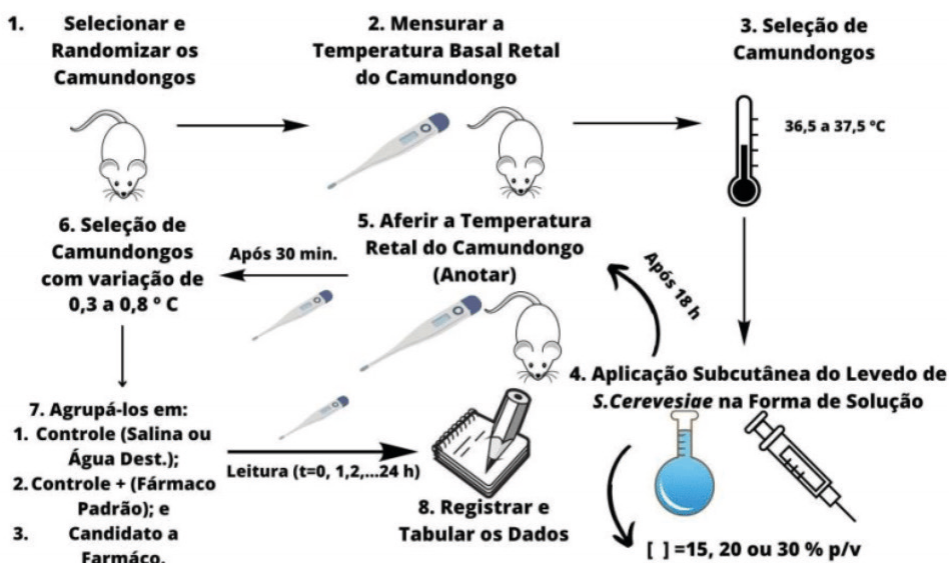


Imagem 9: Imagem Ilustrativa do Protocolo Experimental de Levedo de Cerveja

Fonte: Próprio Autor (2022)

Com relação a espécie *Wistar*, os protocolos de investigação de atividade antipirética com levedura de cerveja, que sua suspensão é conhecida por produzir febre em todos os ratos, trabalham na aplicação subcutânea dos roedores, na região das costas, que serão divididos em grupos (Grupo Controle, Grupo Padrão e os Grupos Controle) com uso de soluções de Tween, Salina, fármaco padrão e a substância de interesse antipirético (Srivastav *et al.*, 2022; Elshamy *et al.*, 2022).

A administração das soluções e da substância de interesse nos grupos de ratos *Wistar*, depende de cada experimento que varia as proporções. Nos estudos de Srivastav e colaboradores (2022), com ratos da espécie com 150 g a 200 g, por exemplo, dispuseram o grupo controle com 1 %/80% de solução salina com Tween, grupo padrão com 100 mg/Kg de Paracetamol e os grupos testes com 25 e 50 mg/Kg de Óleo Essencial de Canela e aferindo a temperatura retal, digitalmente, em tempos 0 h, 1 h, 2 h, 3 h e 4 h.

Em outra pesquisa de indução de piroxia conduzida por Abdelhameed *et al.* (2021), buscando avaliar, entre outras coisas, a atividade antipirética do óleo essencial do broto de *Araucaria bidivillii* e da nanoemulsão, os *Wistar* (150 – 200 g) foram divididos em 7 grupos (n = 6) dos quais todos receberam uma injeção intramuscular da suspensão de levedura de 1 mL/100 g bwt com 44% em solução salina, posteriormente, aguardou-se as 24 horas para aferir por via retal a temperatura dos roedores de todos os grupos. Depois, selecionou-se os ratos com maior temperatura (> 0,3 °C) para aplicação de doses únicas do óleo essencial (50 e 100 mg/kg, respectivamente), a nanoemulsão (50 e 100 mg/kg, respectivamente), paracetamol (150 mg/kg), diclofenaco (30 mg/kg) e solução salina (controle positivo). Ainda, a temperatura retal foi determinada após 30, 60 e 120 min de intervenção.

Limites e viés: o recorte temporal, as restrições de idiomas, artigos elegíveis são os possíveis limites. A seleção dos estudos, métodos, análises e resultados dos artigos aplicados na pesquisa podem ser o possível viés.

Aplicação: compreender os mecanismos neurocientíficos, fisiológicos, imunológicos e a análise experimental de novos antipiréticos.

Conflito de Interesses: os autores declaram que não há conflito de interesse.

Financiamento: os autores declaram que não há ajuda de custo para produção científica.

CONCLUSÃO

Em suma, a pesquisa experimental da piroxia é baseada no desenvolvimento do conhecimento a cerca das ciências da saúde e biológicas no desenvolvimento de medicamentos naturais. Portanto, a indução experimental de modelo *in vivo* em roedores *Wistar* e *Swiss* é barganhado pela compreensão neurocientífica nos níveis anatômicos, imunológicos e fisiológicos que podem favorecer no desenvolvimento de novos fármacos antipiréticos através da biodiversidade de uma região a qual pode produzir algum produto natural como os Óleos Essenciais (OEs) e a diminuição de Reações Adversas a Medicamentos (RAMs) e Interações Medicamentosas (IMs) os quais diminuem a qualidade de vida dos pacientes.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

LNM, BPS, JBCS, HSA e ACFB conceberam o desenho da pesquisa em conjunto com DCM. LNM, BPS, JBCS, HSA e ACFB fizeram a investigação e escreveram o artigo sob a supervisão da DCM. Os autores leram e aprovaram a versão final do documento. O conteúdo do trabalho é de exclusiva responsabilidade individual dos autores.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Daniele Carvalho Miller, Pesquisadora Júnior do Centro de Estudos Pré-Clínicos da Amazônia (CEPAM) da Universidade do Estado do Pará do Centro de Ciências Biológicas e de Saúde (UEPA/CCBS/CAMPUS II).

REFERÊNCIAS

ABDELHAMEED, Mohamed F.; ASAAD, Gihan F.; RAGAB, Tamer I. M.; AHMED, Rania F.; GENDY, Abd El-Nasser G. El; EL-RAHMAN, Sahar S. Abd; ELGAMAL, Abdelbaset M.; ELSHAMY, Abdelsamed I.. **Oral and Topical Anti-Inflammatory and Antipyretic Potentialities of Araucaria bidiwillii Shoot Essential Oil and Its Nanoemulsion in Relation to Chemical Composition**. *Molecules*, [S.L.], v. 26, n. 19, p. 1-23, 26 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26195833>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/19/5833>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ALVES, Mariana Rocha; RODRIGUES, Vinicius Dias; SOARES, Wellington Danilo; MONTEIRO JUNIOR, Renato Sobral. **REVISÃO DE LITERATURA E SUAS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS**. *Revisão Bibliográfica: o uso da metodologia para a produção de textos*, [S.L.], v. 1, n. 2022, p. 46-53, 05 jul. 2022. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/220509058>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220509058.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ANALGÉSICOS E ANTINFLAMATÓRIOS. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/5662459/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

ANDRADE, Mário César Rezende. **O papel das revisões de literatura na produção e síntese do conhecimento científico em Psicologia**. *Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia*, [S.L.], v. 14, n. , p. 1-5, dez. 2021. *Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia*. <http://dx.doi.org/10.36298/gerais202114e23310>. Disponível em: <https://pepsic.bvsalud.org/pdf/gerais/v14nspe/01.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ARAÚJO, Wânderson Cássio Oliveira. **Recuperação da informação em saúde: construção, modelos e estratégias**. *Convergências em Ciência da Informação, Sergipe*, v. 3, n. 2, p. 100-134, 10 jul. 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/52993/1/2020_art_wcoaraujo.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

BAGATINI, Airton; CANGIANI, Luiz Marciano; CARNEIRO, Antônio Fernando; NUNES, Rogean Rodrigues (org.). **Bases do Ensino da Anestesiologia**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Anestesiologia/Sba, 2016. 1216 p. Disponível em: <https://saes.org.br/images/meta/0f132de0-3693-4884-87be-a2618a62c884/133/bases-do-ensino-da-anestesiologia.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

CARVALHO, Wilson Andrade; LEMÔNICA, Lino. **Mecanismos Celulares e Moleculares da Dor Inflamatória: modulação periférica e avanços terapêuticos**. *Revista Brasileira de Anestesiologia*, Rio de Janeiro, v. 48, n. 2, p. 137-158, abr. 1998. Disponível em: <https://bjan-sba.org/journal/rba/article/5e498c090aec5119028b48f7>. Acesso em: 15 set. 2022.

CRUZ-ALVARENGA, Abner Javier. **LOS ANTAGONISTAS FISIOLÓGICOS DE LOS PIRÓGENOS ENDÓGENOS Y SU PAPEL EM LA FIEBRE.** Ver Cient Cienc Méd, Cochabamba , v. 22, n. 2, p. 36-46, 2019 . Disponível em http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332019000200006&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 05 set. 2022.

DHAKAL, Subash; LEE, Youngseok. **Transient Receptor Potential Channels and Metabolism.** Molecules And Cells, Seul, v. 8, n. 42, p. 569-578, 23 ago. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6715338/pdf/molce-42-569.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2022.

DONOSO, Alejandro; ARRIAGA, Daniela. **Fiebre y terapia antipirética en el paciente con sepsis en la unidad de cuidados intensivos: actualización.** Boletín Médico del Hospital Infantil de México, [S.L.], v. 75, n. 4, p. 203-215, 29 jan. 2019. Publicidad Permanyer, SLU. <http://dx.doi.org/10.24875/bmhim.m18000020>. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 28 set. 2022.

DORSA, Arlinda Cantero. **O papel da revisão da literatura na escrita de artigos científicos.** Interações (Campo Grande), [S.L.], v. 21, n. 4, p. 681-684, 30 out. 2020. Universidade Católica Dom Bosco. <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v21i4.3203>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/ctsj4sLz6CkZYQfZWBS4Lbr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 nov. 2024.

ELSHAMY, Abdelsamed I.; AMMAR, Naglaa M.; HASSAN, Heba A.; AL-ROWAILY, Saud L.; RAGAB, Tamer I.; GENDY, Abd El-Nasser G. El; ABD-ELGAWAD, Ahmed M.. **Essential oil and its nanoemulsion of Araucaria heterophylla resin: chemical characterization, anti-inflammatory, and antipyretic activities.** Industrial Crops And Products, [S.L.], v. 148, n. 112272, p. 1-10, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112272>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669020301886>. Acesso em: 13 nov. 2024.

EMON, Nazim Uddin; RUDRA, Sajib; ALAM, Safaet; HAIDAR, Ibrahim Khalil Al; PAUL, Susmita; RICHI, Fahmida Tasnim; SHAHRIAR, Saimon; SAYEED, Mohammed Aktar; TUMPA, Nadia Islam; GANGULY, Amlan. **Chemical, biological and protein-receptor binding profiling of Bauhinia scandens L. stems provide new insights into the management of pain, inflammation, pyrexia and thrombosis.** Biomedicine & Pharmacotherapy, [S.L.], v. 143, n. 112185, p. 1-13, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112185>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0753332221009690?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ESLAMI, Hosein; FARAMARZI, Masoumeh; MAJIDI, Jafar; BOHLOULI, Sepideh; KHANI, Anahita Javad; AGHEBATI-MALEKI, Leili; MOTAHARI, Paria. **Comparing the Levels of Gingival Crevicular Fluid Prostaglandin E2 in Generalized Chronic Periodontitis Between Healthy and Type 2 Diabetes Patients: a case-control study.** Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 1-8, 20 mar. 2019. APESB (Associação de Apoio a Pesquisa em Saúde Bucal). <http://dx.doi.org/10.4034/pboci.2019.191.63>. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 05 set. 2022.

ETIENNE, Rachele; VIEGAS, F. P. D.; VIEGAS Jr., C.. **Aspectos fisiopatológicos da inflamação e o planejamento de fármacos: uma visão geral atualizada.** Revista Virtual de Química, v. 13, n. 1, 2021. Disponível em: <http://www.static.sites.s bq.org.br/>Acesso em: 15 set. 2022.

FERREIRA, Cátia; PEREIRA, Catarina; SANTOS, Dulce; BORGES, João; BATALHA, Luís. **Medição da temperatura corporal em crianças: estudo comparativo entre o método de medição axilar e timpânico.** Revista de Enfermagem Referência, [S.L.], v. , n. 1, p. 1-8, 6 maio 2022. Health Sciences Research Unit: Nursing. <http://dx.doi.org/10.12707/rv21008>. Disponível em: <https://www.search.scielo.org/>. Acesso em: 27 set. 2022.

FLOURIS, A. D. (2019). **Human Thermoregulation.** Heat Stress in Sport and Exercise, 3–27. Doi:10.1007/978-3-319-93515-7_1. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-93515-7_1. Acesso em: 13 jul. 2022.

GARAMI, Andras; SHIMANSKY, Yury P.; RUMBUS, Zoltan; VIZIN, Robson C.L.; FARKAS, Nelli; HEGYI, Judit; SZAKACS, Zsolt; SOLYMAR, Margit; CSENKEY, Alexandra; CHICHE, Dan A.; KAPIL, Ram; KYLE, Donald J.; HORN, Wade D. Van; HEGYI, Peter; ROMANOVSKY, Andrej A. **Hyperthermia induced by transient receptor potential vanilloid-1 (TRPV1) antagonists in human clinical trials: insights from mathematical modeling and meta-analysis.** *Pharmacology & Therapeutics*, [S.L.], v. 208, n. 107474, p. 1-26, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pharmthera.2020.107474>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0163725820300024?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jul. 2022

GRITON, Marion; KONSMAN, Jan Pieter. **Neural pathways involved in infection-induced inflammation: recent insights and clinical implications.** *Clinical Autonomic Research*, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 289-299, 14 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10286-018-0518-y>. Disponível em: <https://www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 14 set. 2022.

JAVED, Faraza; JABEEN, Qaiser; ASLAM, Naveed; AWAN, Ambreen Mehmood. **Pharmacological evaluation of analgesic, anti-inflammatory and antipyretic activities of ethanolic extract of Indigofera argentea Burm. F.** *Journal Of Ethnopharmacology*, [S.L.], v. 259, n. 112966, p. 1-8, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2020.112966>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874120301744?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2022.

KASHIO, Makiko; TOMINAGA, Makoto. **The TRPM2 channel: a thermo-sensitive metabolic sensor.** *Channels*, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 426-433, 20 jul. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19336950.2017.1344801>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/19336950.2017.1344801?needAccess=true>. Acesso em: 13 jul. 2022.

KUNDU, Pritam; DEBNATH, Shovan Lal; DEVNATH, Hiron Saraj; SAHA, Lopa; SADHU, Samir Kumar. **Analgesic, Anti-inflammatory, Antipyretic, and In Silico Measurements of Sonneratia caseolaris (L.) Fruits from Sundarbans, Bangladesh.** *Biomed Research International*, [S.L.], v. 2022, p. 1-16, 24 ago. 2022. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2022/1405821>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/1405821>. Acesso em: 12 dez. 2022.

KUMAR, P. Sanjai; NAYAK, Tapas K.; MAHISH, Chandan; SAHOO, Subhansu S.; RADHAKRISHNAN, Anukrishna; DE, Saikat; DATEY, Ankita; SAHU, Ram P.; GOSWAMI, Chandan; CHATTOPADHYAY, Soma. **Inhibition of transient receptor potential vanilloid 1 (TRPV1) channel regulates chikungunya virus infection in macrophages.** *Archives Of Virology*, [S.L.], v. 166, n. 1, p. 139-155, 30 out. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-020-04852-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00705-020-04852-8>. Acesso em: 13 jul. 2022.

LAMAS, J. Antonio; RUEDA-RUZAFÁ, Lola; HERRERA-PÉREZ, Salvador. **Ion Channels and Thermosensitivity: trp, trek, or both?.** *International Journal Of Molecular Sciences*, [S.L.], v. 20, n. 10, p. 2371-2387, 14 maio 2019. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms20102371>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/10/2371>. Acesso em: 13 jul. 2022.

LEZAMA-GARCÍA, Karina; MOTA-ROJAS, Daniel; PEREIRA, Alfredo M. F.; MARTÍNEZ-BURNES, Julio; GHEZZI, Marcelo; DOMÍNGUEZ, Adriana; GÓMEZ, Jocelyn; GERALDO, Ana de Mira; LENDEZ, Pamela; HERNÁNDEZ-ÁVALOS, Ismael; FALCÓN, Isabel; OLMOS-HERNÁNDEZ, Adriana; WANG, Dehua. **Transient Receptor Potential (TRP) and Thermoregulation in Animals: structural biology and neurophysiological aspects.** *Animals*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-21, 2 jan. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani12010106>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/1/106>. Acesso em: 12 dez. 2022.

LORENCETTI-SILVA, Francine; PEREIRA, Priscilla Aparecida Tartari; MEIRELLES, Alyne Fávero Galvão; FACCIOLI, Lúcia Helena; PAULA-SILVA, Francisco Wanderley Garcia. **Prostaglandin E2 Induces Expression of Mineralization Genes by Undifferentiated Dental Pulp Cells.** *Brazilian Dental Journal*, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 201-207, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6440201902542>. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 05 set. 2022.

MCALLEN, Robin M.; MCKINLEY, Michael J.. **Efferent thermoregulatory pathways regulating cutaneous blood flow and sweating**. Handbook Of Clinical Neurology, [S.L.], p. 305-316, jan. 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-63912-7.00018-7>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 14 set. 2022.

MORRISON, Shaun F.. **Efferent neural pathways for the control of brown adipose tissue thermogenesis and shivering**. Handbook Of Clinical Neurology, [S.L.], v. 156, n. 3, p. 281-303, jan. 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-63912-7.00017-5>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 14 set. 2022.

NOCK, Doshu Daniel; ABRAHAM, Idagu Godwin; AHMAD, Mubarak Hussaini. **Potential pharmacological properties of methanol leaves extract of *Culcasia Angolensis* (Araceae): antinociceptive, antiinflammatory and antipyretic activities in laboratory animals**. The Journal Of Basic And Applied Zoology, [S.L.], v. 83, n. 1, p. 1-11, 3 mar. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s41936-022-00269-8>. Disponível em: <https://basicandappliedzoology.springeropen.com/articles/10.1186/s41936-022-00269-8>. Acesso em: 12 dez. 2022.

OLIVEIRA, Lucas Nicolau de. **Síndrome Febril**. 2014. Revisado por Elvys dos Santos Pereira. Disponível em: <https://lucasnicolau.com/?v=publicacoes&id=3>. Acesso em: 13 dez. 2022.

OSMAN, Walla'A A.; LABIB, Dina A.; ABDELHALIM, Mona O.; ELROKH, Elsayed M.. **Synergistic analgesic, anti-pyretic and anti-inflammatory effects of extra virgin olive oil and ibuprofen in different experimental models of albino mice**. International Journal Of Rheumatic Diseases, [S.L.], v. 20, n. 10, p. 1326-1336, 7 jun. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1756-185x.13105>. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez182.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/1756-185X.13105>. Acesso em: 12 dez. 2022.

PEIXOTO, Victor; MACHADO, Fernando. **PHYSICAL METHODS MANAGEMENT FOR FEVER: it can be used?**. Residência Pediátrica, [S.L.], p. 1-21, jan. 2023. Residência Pediátrica. <http://dx.doi.org/10.25060/residpediatr-2023-954>. Disponível em: <https://cdn.publisher.gn1.link/residenciapediatria.com.br/pdf/pprint954.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

PEREIRA, Diego Fleury de Lemos. **Neurofisiologia da dor**. 2018. Disponível em: <https://cienciasecognicao.org/neuroemdebate/arquivos/4383>. Acesso em: 13 dez. 2022.

PITOLI, Pedro José; DUARTE, Brenda Katheryne; FRAGOSO, Andressa Amorim; DAMACENO, Daniela Garcia; MARIN, Maria José Sanches. **Febre em crianças: procura de pais por serviços médicos de emergência**. Ciência & Saúde Coletiva, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 445-454, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232021262.40782020>. Disponível em: <https://www.search.scielo.org/>. Acesso em: 24 set. 2022.

RAHAMAN, Md. Mizanur; HASSAN, S. M. Hafiz; MARTORELL, Miquel; SHARIFI-RAD, Javad; ISLAM, Muhammad Torequl. **Ascorbic acid interaction with phytol: a modulatory effects on the anti-pyretic activity of paracetamol in swiss albino mice**. Clinical Phytoscience, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-5, 12 ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40816-020-00200-0>. Disponível em: <https://link-springer-com.ez182.periodicos.capes.gov.br/article/10.1186/s40816-020-00200-0#citeas>. Acesso em: 12 dez. 2022.

RAMOS FREITAS, P.; DA SILVA MENDES, J. W.; DE OLIVEIRA DIAS, K. J.; NOGUEIRA DE CARVALHO FILHO, M. A.; JUSTINO DE ARAÚJO, A. C.; RIBEIRO FILHO, J. **ABORDAGENS TERAPÊUTICAS NAS DOENÇAS INFLAMATÓRIAS: UMA REVISÃO**. Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 318-324, 2019. DOI: 10.16891/638. Disponível em: <https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/638>. Acesso em: 15 set. 2022.

REGINATO, Cássia; SILVA, Kaline de Moura; BARRETO, Mirela Sangoi; RESENDE, Thais Polastri Antunes. **Aula 00 (Profª. Mirela): SEMSA Manaus (Cirurgião Dentista – Periodontista) Conhecimentos Específicos – 2021 (Pós-Edital)**. Disponível em: https://cdn.estrategiaconcursos.com.br/storage/temp/aula/1678376/0/curso-190460-aula-00-prof-mirela-c7b0-completo.pdf?Expires=1670993985&Signature=ASE0b63Ur3IlyznDn9mQ7ArBu0FaEUbF7r1ISAttFiwW4HA3JABC6vLjv7aNi8OPA-YQMR9gkllm5vKwyH2yQ1ZFIL8qtVtIDoT8CQWqilCCziJ3VofWY118EX1nYKq0-kDwiMkzfC8DxF-uewgPqoCmU0ijrSgXxn1ojZnkuZLC4Y8JRZ7hoxBIMbw41v223bHT44U~OJP~OjWU0BIH4rwaapPpmESODSZCRn26MKj5vCLZxycEmuYpE83F5c9VVYix3k~IYvfU2o81dXZEZDuZPumKutv1ZrhtCYnaoVVQhNZbAec2neI4Z3a4tZbolwm3b3rcUaerlcnvf6FA__&Key-Pair-Id=APKAIMR3QKSK2UDRJITQ. Acessado em: 13 dez. 2022.

SANTANA, Leonardo Fernandes; RODRIGUES, Mateus de Sousa; SILVA, Marylice Pâmela de Araújo; BRITO, Rodrigo José Videres Cordeiro de; NICACIO, Jandir Mendonça; DUARTE, Rita Marina Soares de Castro; GOMES, Orlando Vieira. **Fever of unknown origin in special groups**. Revista da Associação Médica Brasileira, [S.L.], v. 65, n. 10, p. 1308-1313, out. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9282.65.10.1308>. Disponível em: <https://www.search.scielo.org/>. Acesso em: 27 set. 2022.

SCARPELLINI, Carolina da Silveira. **Regulação da Temperatura Corporal: sensores e efetores térmicos**. 2016. 111 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências Fisiológicas, Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Ciências Fisiológicas Ufscar/Unesp, Universidade Federal de São Carlos, Araraquara, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7353/TeseCSS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 dez. 2022.

SHI, Jialu; LI, Huizhen; LIANG, Shengnan; EVIVIE, Smith Etereri; HUO, Guicheng; LI, Bailiang; LIU, Fei. **Selected lactobacilli strains inhibit inflammation in LPS-induced RAW264.7 macrophages by suppressing the TLR4-mediated NF-κB and MAPKs activation**. Food Science And Technology, [S.L.], v. 42, n. 107621, p. 1-12, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.107621>. Disponível em: <https://www.scielo.br/fj/cta/a/ZHLzPbqZHCbrBQNKyJzDSCM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 05 set. 2022.

SIEMENS, Jan; KAMM, Gretel B.. **Cellular populations and thermosensing mechanisms of the hypothalamic thermoregulatory center**. Pflügers Archiv – European Journal Of Physiology, [S.L.], v. 470, n. 5, p. 809-822, 27 jan. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00424-017-2101-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00424-017-2101-0>. Acesso em: 13 jul. 2022.

SRIVASTAV, Gaurava; GUPTA, Dakshina; DUBEY, Anubhav; KUMAR, Neeraj. **Investigation of Anti-Pyretic Activity of Cinnamon Oil in Wistar Rat**. Journal For Research In Applied Sciences And Biotechnology, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 51-56, 16 ago. 2022. Stallion Publication. <http://dx.doi.org/10.55544/jrasb.1.3.7>. Disponível em: <https://jrasb.com/index.php/jrasb/article/view/18/43>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SOBEH, Mansour; EL-RAEY, Mohamed; REZQ, Samar; ABDELFATTAH, Mohamed A.O.; PETRUK, Ganna; OSMAN, Samir; EL-SHAZLY, Assem M.; EL-BESHBISHY, Hesham A.; MAHMOUD, Mona F.; WINK, Michael. **Chemical profiling of secondary metabolites of Eugenia uniflora and their antioxidant, anti-inflammatory, pain killing and anti-diabetic activities: a comprehensive approach**. Journal Of Ethnopharmacology, [S.L.], v. 240, n. 111939, p. 1-12, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2019.111939>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874119313078?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SOUZA, Mariana Vieira de; DAMIÃO, Elaine Buchhorn Cintra; BUCHHORN, Soraia Matilde Marques; ROSSATO, Lisabelle Mariano. **Manejo não farmacológico da febre e hipertermia da criança: revisão integrativa**. Acta Paulista de Enfermagem, [S.L.], v. 34, p. 1-10, jan. 2021. Acta Paulista de Enfermagem. <http://dx.doi.org/10.37689/acta-ape/2021ar00743>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ape/a/3gXPFJ74QR7rJRRwZwTSGJf/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SPENCER, Inês Mateus. **Febre: padrões de febre e o seu impacto na patologia**. 2015. 57 f. Dissertação (Doutorado) – Curso de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/cris/rp/rp13859>. Acesso em: 12 nov. 2024.

TAN, Chan Lek; KNIGHT, Zachary A.. **Regulation of Body Temperature by the Nervous System**. *Neuron*, [S.L.], v. 98, n. 1, p. 31-48, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2018.02.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627318301430>. Acesso em: 13 jul. 2022.

THOMAZ, Tania Gouvêa; PAULA, Ana Ester Amorim de; ALVES, Daniel de Moraes; ALVES, Luana Lemos; FONSECA, Pedro Guilherme Mol da. **Migraine and sleep deprivation: integrative review**. *Brazilian Journal Of Pain*, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 379-387, 21 set. 2021. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/2595-0118.20210068>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brjp/a/k4twWDZ74hnQhhXqP-C3qDmx/abstract/?lang=en>. Acesso em: 13 jul. 2022.

TIMONEDA, Esther Garrigós. **Utilización de ibuprofeno por los usuarios de la farmacia comunitaria**. *Farmacéuticos Comunitarios*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 34-38, 30 mar. 2017. Edittec. [http://dx.doi.org/10.5672/fc.2173-9218.\(2017/vol9\).001.05](http://dx.doi.org/10.5672/fc.2173-9218.(2017/vol9).001.05). Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 28 set. 2022.

TOMAZETTI, Jorgete; ÁVILA, Daiana Silva; FERREIRA, Ana Paula Oliveira; MARTINS, Juliana Saibt; SOUZA, Fabiane Rosa; ROYER, Carine; RUBIN, Maribel Antonello; OLIVEIRA, Marli Redin; BONACORSO, Hélio Gauze; MARTINS, Marcos Antônio Pinto; ZANATTA, Nilo; MELLO, Carlos Fernando. **Baker yeast-induced fever in young rats: characterization and validation of an animal model for antipyretics screening**. *Journal Of Neuroscience Methods*, [S.L.], v. 147, n. 1, p. 29-35, ago. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.03.002>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 28 set. 2022.

TOSCANO, Valeria Gómez. **Uso de antipiréticos en Pediatría**. *Acta Pediátrica de México*, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 385, 29 nov. 2018. *Acta Pediatrica de Mexico*. <http://dx.doi.org/10.18233/apm39no6pp385-3881737>. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 28 set. 2022.

UCHIDA, Yuki; IZUMIZAKI, Masahiko. **Effect of menstrual cycle and female hormones on TRP and TREK channels in modifying thermosensitivity and physiological functions in women**. *Journal Of Thermal Biology*, [S.L.], v. 100, n. 1, p. 1-9, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103029>. Acesso em: 13 jul. 2022.

VOETS, Thomas; VRIENS, Joris; VENNEKENS, Rudi. **Targeting TRP Channels – Valuable Alternatives to Combat Pain, Lower Urinary Tract Disorders, and Type 2 Diabetes?** *Trends In Pharmacological Sciences*, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 669-683, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tips.2019.07.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165614719301415?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jul. 2022.

ZHU, Bingqi; QIAN, Chaodong; ZHOU, Fangmei; GUO, Jingjing; CHEN, Nipi; GAO, Chengxian; JIN, Bo; DING, Zhishan. **Antipyretic and antitumor effects of a purified polysaccharide from aerial parts of *Tetragium hemsleyanum***. *Journal Of Ethnopharmacology*, [S.L.], v. 253, n. 112663, p. 1-11, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2020.112663>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874119336499?via%3Dihub>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ACOUSTIC COMMUNICATION IN *dendroctonus adjunctus* BLANDFORD (CURCULIONIDAE SCOLYTINAE): DESCRIPTION OF CALLS AND SOUND PRODUCTION MECHANISM

Data de submissão: 06/11/2024

Data de aceite: 10/01/2025

León L. Cerrillo-Mancilla

Laboratorio de Variación Biológica y Evolución, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n. Col. Sto. Tomás, Ciudad de México, Mexico

Claudia Cano-Ramírez

Laboratorio de Variación Biológica y Evolución, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n. Col. Sto. Tomás, Ciudad de México, Mexico

Gerardo Zúñiga

Laboratorio de Variación Biológica y Evolución, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n. Col. Sto. Tomás, Ciudad de México, Mexico

ABSTRACT: Acoustic communication system (ACS) in bark beetles has been studied mainly in species of the genera *Dendroctonus*, *Ips*, and *Polygraphus*. Specifically, ACS of the roundheaded pine beetle, *Dendroctonus adjunctus*, has been little studied. In this study, we described the stridulatory apparatus of this beetle using optical and scanning electron microscopy and recorded the call types produced by males in three behavioral contexts: stress, male-female, male-male interactions. From the spectrograms and waveforms, call types, as well as temporal (tooth strike, tooth strike rate and intertooth strike interval) and spectral features (minimum, maximum and dominant frequency) were determined. Males have a functional elytero-tergal stridulatory apparatus, females not, consisting of a file for the pars stridens and two lobes for the plectrum. Most of spectro-temporal features were statistically different between single- and multi-noted calls and across the three behavioral contexts. In the male-male interaction, a new type of call named “withdrawal” was produced by the male withdrawing or fleeing. Our results suggest that the spectro-temporal features of single- and multiple-noted calls in the three behavioral conditions are specific and

different from each other. Yet, the combination of single and multiple calls determinate an overall calling pattern characteristic of the tested behaviors and, therefore species-specific.

KEYWORDS: bioacoustics, bark beetle, elytro-tergal, single and multiple-noted calls, withdrawal call.

INTRODUCTION

The acoustic system (AS) (signals, auditory organs, stridulatory devices) is a key innovation that evolved independently in many insect groups [1,2]. Around 92% over 195,000 described insect species produce mainly vibrational signals and other forms mechanical signaling involved in different intra- and interspecific functions [3], such as disturbance and alarm, aggregation, aggression, courtship, copulatory, postcopulatory, and aggressive mimicry [4-8]. Yet, the AS does not consist of a set of evolutionarily independent components, as they are likely to be functionally related to components of other communication systems, such as chemical and visual [9-11]. The importance of each system depends on the insect group and on the environment in which they live [1,12].

The pattern of sound signals in insects is varied, complex and generally species-specific [13]. Sound signals are continuous or discontinuous vibrations with physical properties dependent on its dispersion across a medium and its reception by auditory organs [14,15]. The most common signaling device in insects is an intersegmental stridulatory apparatus, followed by mesonotal- pronotal and other less common apparatuses, such as elytro-tergal, vertex- pronotal and gula-prosternal [16,17].

Bark beetles (Curculionidae: Scolytinae) are a diverse group of herbivorous insects that play an important role in the ecosystem, because they contribute to the structure, composition, dynamics, and vitality of the forests by colonizing and killing old, damaged or physiologically weakened trees [18,19]. Moreover, bark beetles create food webs because generate habitats by killing trees which promotes biodiversity (fungi, mites, bacteria and many other invertebrates and vertebrates use this new resource) [20]. Furthermore, these beetles have established complex ecological interactions with their symbionts, thereby constituting a true holobiont [21,22]. Yet, they are also considered important disturbance agents, because the outbreaks of some bark beetle species can kill thousands of health trees and caused a negative impact on ecosystem services for humans and significant economic losses to timber producers [23,24].

Bark beetles are essentially olfactory insects, since they use specific mixtures of semiochemicals to differentiate, select and colonize host trees and attract mates and conspecifics [25,26]. Inside plants, bark beetles live in a subcortical environment where they build their galleries, mate and grow their offspring [24]. This is a dark and chemically saturated environment where a chemical communication system could not be reliable [5,15,27]. In the subcortical environment, the AS may be of paramount importance, since wood is a good mediator of sonic signals transmission for communication [27].

Studies of the AS in bark beetles have been carried out mainly in species of the genera *Dendroctonus*, *Ips*, *Hylurgus* and *Polygraphus* [28-32]. From these studies, the manner in which sound is produced in these beetles has been delineated (e.g., elytro-tergal, vertex-pronotal, and gula-prosternal); specifically in the *Dendroctonus*-bark beetles, the mechanism found is the elytro-tergal, which is composed of two structures: the pars stridentis located on the inner face of the declive elytral and the plectrum, situated at the seventh abdominal tergite, which generate sound sequences or stridulations [16,28,33]. Moreover, a general catalogue of sounds under stress conditions has been outlined [16], as well as the spectral and temporal characteristics of sound in different biological contexts (e.g. stress, courtship, and female-male interactions) and the effect that some morphological features (e.g., beetle size) have on the sound type produced during courtship [29,30,34-36].

The roundheaded pine beetle, *D. adjunctus* Blandfort, is an aggressive species that colonize around 18 pine species, preferentially *Pinus hartwegii*, across its distribution range from the United States to Central America [37,38]. Studies of acoustic communication in this bark beetle are scarce and were conducted under a stress condition; in addition, dimorphism was observed in the sound production because only males produced it [16]. Based on this information, we investigated the variability and specific degree of the spectral and temporal features of male calls. We first described the morphology of stridulatory apparatus using optical and scanning electron microscopy and, later, we recorded the call types produced by males as well as temporal and spectral features of sounds under different behavioral conditions, such as stress and male-female and male-male interactions.

MATERIALS AND METHODS

Pinus hartwegii trees infested and non-infested by the roundheaded pine beetle were felled in May 2023 at the Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, Jalisco State, Mexico (19°35'15.2" N, 103°36'7.33" W; 3414 m elevation). Trees of each condition were sectioned into logs (20 cm length x 30 cm diameter) and sealed at the ends with paraffin to avoid dehydration. Once in the laboratory, uninfested logs were stored in the freezer at 4 °C, while infested logs were enclosed in cloth bags and stored at room temperature. Emerged adults were collected daily, placed in Magenta™ vessels GA 7 (Magenta Corp, Sigma-Aldrich-Merck, Darmstadt, Germany) containing wet filter paper, and stored at 4 °C to keep them alive until needed. The sex of the organisms was ascertained by the shape of the seventh abdominal tergite [39].

Optical and scanning electron microscopy of stridulatory structures

The seventh abdominal tergite and the left elytra from 30 males were removed using a pair of fine forceps and fine needles. Both structures were cleared by incubating them for 3 h at 70 °C in 10% KOH solution. Thereafter, structures were immersed in 10% acetic acid solution to neutralize the KOH solution, rinsed with 96% alcohol, and later mounted on slides in Hoyer's medium [40]. The pars stridens (Figure 1a) on the left elytra and the plectrum (Figure 1c) in the seventh tergite were observed by optical microscopy (Prime Star 1, Carl Zeiss, Jena, Germany), and the length and width of both structures were measured with a graduated eyepiece and a 0.01 mm calibration slide (Walfront, Micrometer Calibration Slide). The variables measured of these structures were as follows: The length of the pars stridens was the distance between the ridge closest to the anterior edge of the elytra to the ridge farthest from the posterior edge (Figure 1a-1); the width was the distance from the midpoint of the pars stridens closest to the sutural margin to the farthest midpoint of this structure (Figure 1a-2), and the ridge width was the distance between grooves, calculated from the beginning of one groove to the beginning of the next (Figure 1b-3). The external width of the plectrum was the distance between the outer edge of the right lobe to the outer edge of the left lobe in the anteroposterior position of the insect body (Figure 1d-5). The internal width was the distance between the inner edge of the right lobe to the inner edge of the left lobe (Figure 1d-6), and the lobe width was the distance between the edges of the right lobe (Figure 1d-7). In addition, the stridulatory apparatus of males was observed and photographed in a variable pressure scanning electron microscope under low vacuum (0.6 mbar) and acceleration voltage of 5 kV (FEI Quanta 250 ESEM, FEI Company, Hillsboro, United State) at the Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional.

Sound recording

In this study, we referred to the sounds produced by insects as calls [16], which present different temporal and spectral features depending on the type of interaction. To avoid noise disturbance, all calls produced by the roundheaded pine beetle under stress, male-female and male-male interactions were recorded at night, inside a purpose-built soundproofed wooden box (width x length x depth, 20 x 40 x 30 cm) to minimize stray noise. Calls were recorded with an omnidirectional condenser microphone model ECM8000 (Behringer, Willich, German) and an audio interface model U-PHORIA UM2B (Behringer, Willich, German) in an ASUS laptop, using the virtual audio editor Audacity at 96 kHz, 48-dB gain, and 24 bits sampling rate.

Stress calls of thirty males were recorded while holding them with the thumb and forefinger for 2 min and placing the microphone at 5 mm distance, leaving the elytra free, and lightly pressing their head and pronotum. Male- female interaction calls were repeated 24 times. For this assay, a 0.9 mm diameter hole was drilled in the non-infested *P. hartwegii*

logs bark with a drill and a 5/16*4" drill bit to go through the bark and avoid reaching the phloem. Subsequently, each female was confined in logs for 1 h placing an empty gel capsule over the hole. Once the female began to build a gallery, which was confirmed by the accumulation of frass in the entrance hole, the gel capsule was removed and a randomly selected unmated male was placed at the entrance of the gallery [29]. Male-male interaction was repeated 15 times. For this assay, a circular arena of two cm diameter was made in the bark of non- infested logs with the help of a knife and a drill with a 5/16 drill bit.

Subsequently, the first male was placed in the arena with the help of fine-tipped tweezers. After 1 min the second male was quickly placed in the arena, covering it with a 0.2 mm mesh to avoid escape. Calls from male-female and male-male interactions were recorded for two minutes or until no signals were detected, the microphone was placed at 2 cm from the hole and arena, respectively [29].

Analyses

Spectro-temporal features

From the sounds file, call types (single or multiple notes), ratio, and spectro- temporal features were measured using spectrograms and waveforms in Raven Pro™ 1.4 (www.birds.cornell.edu/raven) following the nomenclature from [16,29,40].

A sound call is a train or set of stridulatory impulses provoked by the tooth strike, that is, the rubbing of the plectrum against a tooth of the pars stridens. In bark beetles, single-note calls are characterized by a series of regularly spaced strikes and multiple-noted calls by two or more pulses spaced by brief periods of silence [41]. In this study, multiple-noted calls were considered as sounds spacing with a duration longer than two and a half milliseconds, and at least three strikess in each part of the train. The call ratio was calculated as the relationship between single-noted calls or multiple-noted calls with respect to the total number of calls observed, this feature was expressed in percentage.

The temporal features recorded included: the tooth strike rate (estimated as the strike number delivered per second), the intertooth strike interval (calculated as the silence time at milliseconds between each tooth strike), and the call duration (estimated as the time which elapsed between the first and last tooth strike from a call). The spectral features evaluated include the maximum frequency (measured as the highest number of repeated waves with respect to time), the minimum frequency (measured as the lowest number of repeated waves), and the dominant frequency (calculated as overlapping of the frequency with the highest amplitude) [30].

The spectro-temporal features of the single-noted and multiple-noted calls of the three conditions assayed were compared using a paired t-test for independent data and different sample sizes. To estimate significant differences of the spectro-temporal features of single-noted and multiple-noted calls among the three conditions assayed (stress, male-male interaction, and female-male), an one-way ANOVA and post hoc test of Tukey-Kramer were conducted. All analyses were performed with Past 4.03 [42].

RESULTS

Stridulatory apparatus of *D. adjunctus*

The shape of the pars stridens is a row of ridges arranged longitudinally with respect to the inner margin of the elytra. The row has ridges aligned perpendicular to the margin of the elytra, which are highly developed on the left elytra and marginally on the right; in fact, when the right elytra is closed it overlaps the left (Figure 1a-b, e-f). The pars stridens is characterized in that most of its ridges are continuous, and only a minority of them are observed fused at some points (Figure 1b-4). The size of this structure was variable among individuals, with a length of $550-690 \pm 7.1 \mu\text{m}$, width $170-260 \pm 4.2 \mu\text{m}$, and a crest width $6.25-8.3 \pm 0.1 \mu\text{m}$ (Table 1).

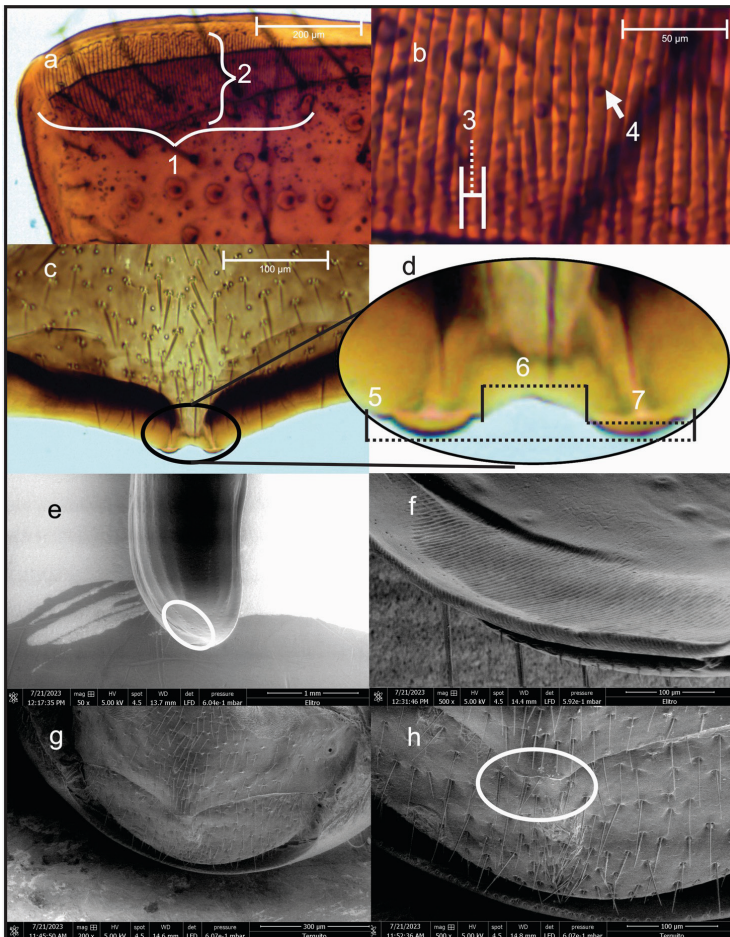


Figure 1. Micrografies of stridulatory apparatus of male *D. adjunctus*. (a) pars stridens observed by optical microscopy (b) zoom of pars stridens, (c) plectrum observed by optical microscopy, (d) zoom of plectrum (e) right elytra and (f) pars stridens observed by scanning electron microscopy, (g) and (h) plectrum by scanning electron microscopy; the white circles indicate the pars stridens and the plectrum. (1) length of pars stridens, (2) width of pars stridens, (3) ridge width, (4) division of a ridge, (5) external width and (6) internal width and (7) lobe width of the plectrum.

*Pars stridens	Width (μm)	Length (μm)	Ridge width (μm)
Range	170-260	550-690	6-8
Media	219.71	610.85	6.71
Standar error	25.26	42.31	0.78
*Plectrum	Internal width (μm)	External width (μm)	Lobe width (μm)
Range	26-31	57-71	15-21
Media	26.54	65.12	19.56
Standar error	3.74	4.73	2.64

Table 1. Measurements of the stridulatory apparatus, pars stridens and plectrum males of *D. adjunctus*.

* see Figure 1 for information about plectrum and pars stridens features.

The plectrum is in the middle part of the posterior margin of the seventh tergite, it consists of two conspicuous lobes projecting towards the eight tergite which, when rubbed voluntarily by friction against the pars stridens, produces the sound (Figure 1c-d, g-h). The plectrum was also variable, with an external width of $57-71 \pm 0.7 \mu\text{m}$, an internal width of $26-31 \pm 0.6 \mu\text{m}$, and a lobular width of $15-21 \pm 0.4 \mu\text{m}$ (Table 1).

Sounds recording

Stress calls

Stressed males emitted a call train at an average rate of 2.25 ± 0.07 calls/s and an output of 10-60 dB, until the insect was released. The call type was predominantly single-noted in most of the insects (30 specimens) analyzed; however, some of them (13 specimens) also emitted multiple-noted calls (Figure 2a-d; Table 2). The total calls ratio was 90% single-noted and 10% multiple-noted (Table 2). The tooth strikes number and tooth strikes rate per second were higher in single-noted calls than multiple-noted calls; the intertooth strike interval was greater for multiple-noted calls than for single-noted calls.

The duration of single-noted calls was slightly shorter than multiple-noted calls (Table 2). Meanwhile, the minimum frequency of single-noted calls was approximately half that of multiple-noted calls, the maximum and dominant frequencies were similar between both noted calls (Table 2). The plot of the power spectrum showed a single-noted call with a maximum amplitude (dB) between one and nine kHz (Figure 2e).

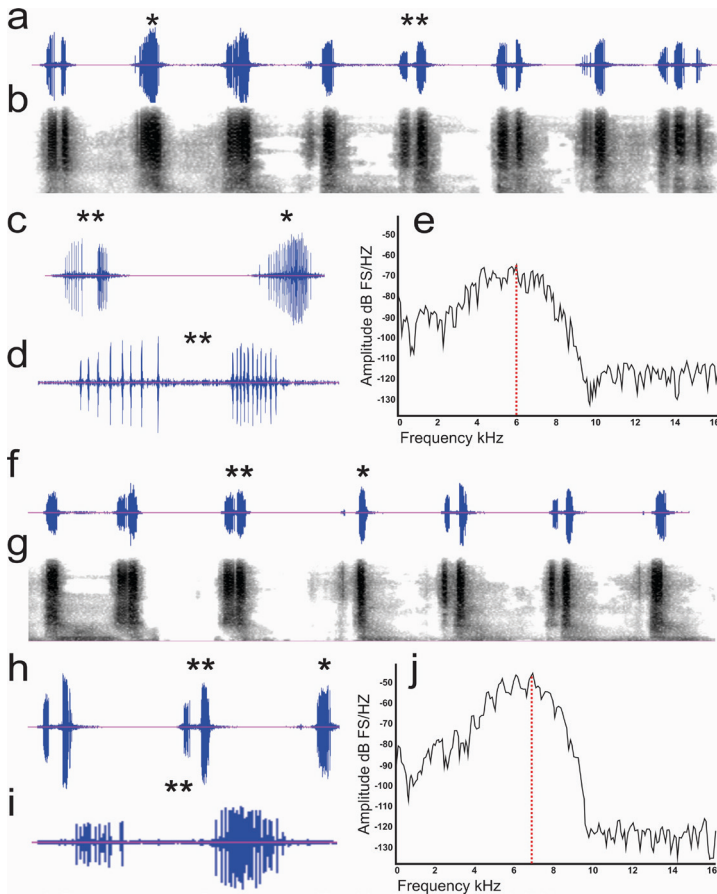


Figure 2. Wave diagram and spectrogram of the stress (a-e) and male-female (f-j) condition. (a) wave diagram and (b) spectrogram of the stress condition, (c) amplification of a single chirp (*) and an interrupted chirp (**), (d) amplification of an interrupted chirp, (e) relative power diagram, (f) wave diagram and (g) spectrogram of the male-female interaction, (h) amplification of a single chirp (*) and an interrupted chirp (**), (i) amplification of an interrupted chirp, (j) relative power diagram.

Female-male interaction

In the female-male interaction, twenty four beetles produced single-noted call, but twelve of them produced also multiple-noted calls in this context (Table 2) (Figure 2f-i). The calls rate was 74% single-noted and 26% multiple-noted (Table 2). During courtship, the male initially emitted single-noted calls, but as it approached the female, it produced multi-noted calls. The call train emitted by males was at an average rate of 7.8 ± 0.27 calls/s and an output of 10-65 dB. The number of tooth strikes, the tooth strike per second, and the intertooth strike interval were higher in multiple-noted calls than single-noted calls. The duration of both types of calls was double in multiple-noted calls than single-noted calls (Table 2); the minimum, the maximum and dominant frequencies of spectral parameters were similar between single-noted and multiple-noted calls (Table 2). The plot of power spectrum showed a single-noted call with an amplitude (dB) between two and ten kHz (Fig. 2j).

Call context	Call type	Proportion n (%)	Temporal				Spectral			
			Tooth strike (no./call)	Tooth strike rate (no./s)	Inter-tooth strike interval (ms)	Call duration (ms)	Minimum frequency (kHz)	Maximum frequency (kHz)	Dominant frequency (kHz)	
Stress	Single	30	0.9	41.4±0.7	*1034.3±26.5	0.9±0.03	*40±1	2.1±0.14	8.6±0.03	a6.5±0.06
	Multiple	13	0.1	27.6±6.5	585.7±75.2	1.6±0.23	47.2±5.5	4.3±0.04	a8.7±0.08	6.7±0.3
Female-male	Single	24	0.74	23.8±1.8	675±20.7	1.4±0.04	35.3±3.7	5.6±0.07	7.8±0.08	6.7±0.07
	Multiple	12	0.26	36.9±1.9	532±27.4	1.8±0.09	69.5±1.3	4.3±0.1	b7.1±0.07	b 6±0.06
Male-male remains	Single	15	0.857	16.4±1	611.7±15.5	1.6±0.04	26.8±2	* 2.7±0.19	a8.4±0.07	c6.6±0.06
	Multiple	7	0.143	21.9±0.3	549.6±24	1.8±0.07	40±1.5	2.5±0.41	a8.5±0.26	c6.2±0.11
Male-male withdrawal	Single	10	1	24±1.9	616.3±24	1.6±0.05	39±2.8	5±0.21	b7.3±0.11	d 6.3±0.11
Significance level Paired t test										
Comparison between Call type	Stress		t=	3.32 (p<0.05)	4.68 (p<0.05)	5.42 (p<0.05)	1.84 (p=0.06)	3.75 (p<0.05)	1.05 (p=0.2)	1.04 (p=0.3)
	Female-male		t=	3.68 (p<0.05)	11.44 (p<0.05)	17.63 (p<0.05)	15.54 (p<0.05)	8.41 (p<0.05)	4.83 (p<0.05)	5.88 (p=0.3)
	Male-male remains		t=	1.68 (p<0.05)	1.66 (p=0.1)	1.58 (p<0.1)	2.11 (p<0.05)	0.44 (p=0.6)	0.66 (p=0.5)	2.65 (p<0.05)
Significance level one ways ANOVA										
Comparison between context	Single		F=	153 (p<0.05)	76.4 (p<0.05)	78.58 (p<0.05)	12.29 (p<0.05)	68.26 (p<0.05)	37.59 (p<0.05)	2.7 (p=0.06)
	Multiple		F=	3.4 (p<0.05)	17.76 (p<0.05)	42.69 (p<0.05)	238.3 (p<0.05)	19.58 (p<0.05)	42.71 (p<0.05)	4.1 (p=0.08)

Table 2. Temporal and spectral measurements of single-noted and multiple-noted calls of *Dendrocinus adjunctus*, in three interactions stress, male-female, and male-male interactions.

*Condition with significant difference for each temporal characteristic, and treatments associated with the same lowercase letter did not differ significantly for spectral characteristics, through the Tukey-Kramer test.

Male-male interaction

Males displayed two behaviors during the interaction: both males stayed in the arena and later one of them left, the latter behavior was observed in most insects (ten out of fifteen) and the time in which the males retreated from the arena was between 30 to 60 s. The males that remained in the arena emitted a calls train at an average rate of 3.7 ± 0.27 calls/s, while males withdrawing emitted a calls train at an average rate of 2.56 ± 0.22 calls/s. Calls in both behaviors showed a range of amplitude of 10-60 dB. Single-noted calls were the primary call type in male-male interactions (Table 2) (Fig. 3a-d). Males which remained in the arena also produced multiple-noted calls (14.3% of the time; Table 2, Figure 3e). For males that remained in the arena, their temporal and spectral characteristics were maintained during the interaction (Table 2).

These temporal and spectral characteristics were like those of the males that remained in the arena until one withdrew from the arena. However, during the insect retraction, the amplitude of the single-noted call decreased significantly.

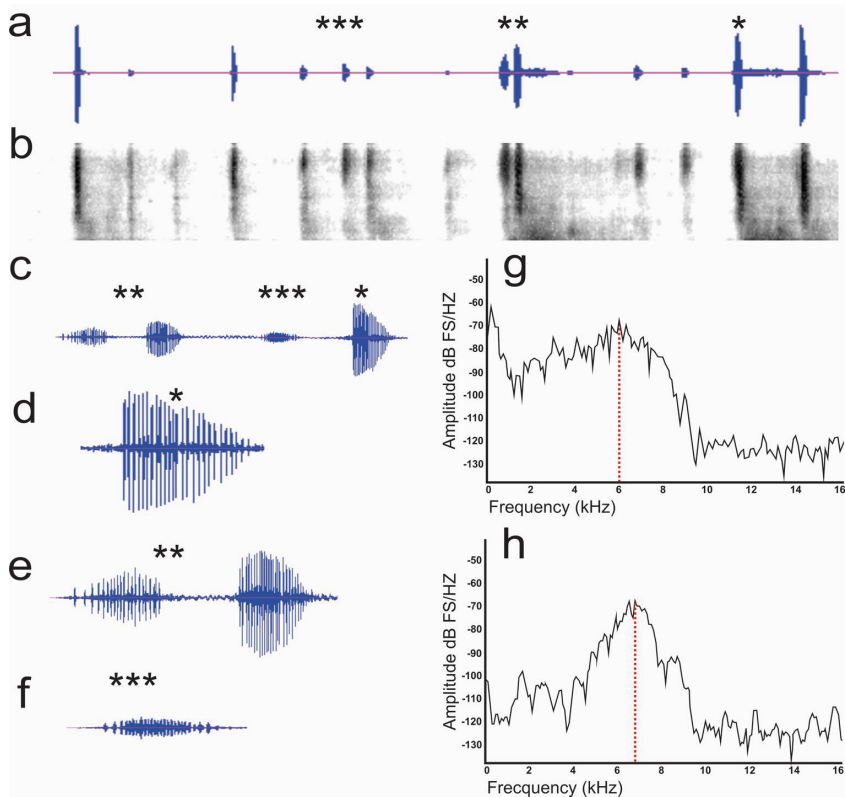


Figure 3. Wave diagram and spectrogram of the male-male condition. (a) wave diagram and (b) spectrogram, (c) amplification of a single-noted call (*), multiple-noted call (**), and “withdrawal call” (***), (d) amplification of a single-noted call, (e) amplification of a multiple-noted call, (f) amplification of “withdrawal call” (***), (g) single-noted call relative power diagram, and (h) single-noted call relative power diagram of a “withdrawal call”.

Significant differences were found between several spectral and temporal features of single-noted and multiple-noted calls generated in each assayed condition. The features tooth strike ($t = 3.32$, $p = 0.001$), tooth strike rate ($t = 4.68$, $p < 0.05$), inter-tooth strike interval ($t = 5.42$, $p < 0.05$), and minimum frequency ($t = 3.75$, $p < 0.05$) were different in the stress condition; tooth strikes ($t = 3.68$, $p = 0.001$), tooth hit rate ($t = 11.44$, $p < 0.05$), intertooth hit interval ($t = 17.63$, $p < 0.05$), call duration ($t = 15.54$, $p = 0.04$), minimum frequency ($t = 8.41$, $p < 0.05$) and maximum frequency ($t = 4.83$, $p < 0.05$) in the male-female interaction, and only call duration ($t = 2.11$, $p = 0.04$) and dominant frequency ($t = 2.65$, $p < 0.05$) in the male-male interaction (Table 2). ANOVA and Tukey-Kramer test showed significant differences in the temporal features of the tooth strikes ($F = 153.0$, $p = 0.001$), the frequency of the tooth strikes ($F = 76.4$, $p = 0.001$), the interval between tooth strikes ($F = 78.58$, $p = 0.001$), and the call duration ($F = 12.29$, $p = 0.001$), as well as in the spectral features of minimum ($F = 68.26$, $p = 0.001$) and maximum ($F = 37.59$, $p = 0.001$) frequency both of single and multiple notes among stress, male-female and male-male conditions (Table 2).

DISCUSSION

This is the first report of the acoustic diversity of male *D. adjunctus* under stress conditions, and female-male and male-male interactions. Roundheaded pine beetle has a stridulatory elytra-tergal apparatus whose general morphological organization aligns with the description of males from *D. frontalis*, *D. pseudotsugae*, *D. brevicomis* [43], *D. ponderosae* [29, 43], *D. rufipennis*, *D. valens* [36,43], *D. terebrans* [44], *D. approximatus* [30], as well as *D. rhizophagus*, *D. mexicanus*, *D. mesoamericanus*, and *D. vitei* [45]. No sound was recorded in females of the roundheaded pine beetle under stress condition, which agrees with the report by [16] for this same species, but not in the female-male interaction. Previous studies have demonstrated that other female *Dendroctonus* have a second stridulatory apparatus called the “terminal abdominal sternite” located in the wall of posterior margin of the last sternite [33,44], from which, it was assumed that they can generate sounds.

To confirm the presence or not of the terminal abdominal sternite, we analyzed 30 females of the roundheaded pine beetle. Interestingly, females have this structure, in agreement with that reported for other species of *Dendroctonus* [44-47], but they also have a structure analogous to the male stridulatory apparatus on the left elytra consistent of a file whose ridges are apparently not well developed and arranged as in males (Figure S1). This structure is also present in females of other *Dendroctonus* species, but it is not known whether they produce sounds with this structure as a true stridulation mechanism [46], as it has been reported for *D. terebrans* [44]. It remains to be resolved whether the sounds produced by females are true calls or are acoustic reminiscences of an atrophied morphological structure in the course of evolution, which could be associated with the ecological role that females play as the sex that initiates host tree selection and colonization, as previously suggested [16].

Acoustic sound generation by male *D. adjunctus* includes single and multi-noted calls in stress tests and female-male and male-male interactions, which are consistent with studies of other *Dendroctonus* bark beetles under the same conditions [16, 29,30,36,43,47]. In both call types of this bark beetle, the significant differences observed in spectral and temporal features indicate that these sounds are linked to specific behaviors, as it has been suggested in other *Dendroctonus* species [29,30,36].

Calls produced in stress conditions by the roundheaded pine beetle were mainly 90% single-noted and 10% multiple-noted, these serve as evidence of two different morphotypes: two-noted and three-noted calls, which is consistent with that reported for other *Dendroctonus*-bark beetles [16,29,47], including *D. approximatus* that apparently only generated single-noted calls in stress [30], but our spectrograms indicate that they can also produce multiple-noted distress calls (Figure S2). In addition, our findings also showed that the intraspecific variation of spectro-temporal features in the roundheaded pine beetle was low, and independent of note type and multi-note morphotypes.

However, significant differences were found between spectro-temporal features in both call types (Table 2), except maximum and dominant frequencies, and call duration. Furthermore, the interspecific comparison of some spectral-temporal features (e.g., maximum, minimum and dominant frequencies, and) of different species generated in stress (Table 3) suggest that the patterns of single-noted distress calls are similar among them, except for the call duration records reported for *D. approximatus* and *D. terebrans* [16]. Unfortunately, the absence of multi-noted call data does not allow us to evaluate whether the spectro-temporal features of these call types are similar or different between species.

Significant differences between the spectro-temporal features of single-noted and multiple-noted calls produced by *D. adjunctus* males in the female-male interaction and in the stress condition indicate that the general pattern of these calls corresponds with different biological behaviors. Our results show a higher prevalence of single notes than multiple notes in this female-male interaction, which does not coincide with that observed in *D. ponderosae* and *D. approximatus* where multiple-note calls are predominant [29,30]. Unfortunately, it is also not possible to compare spectral and temporal features between species, as these data have not always been reported.

It has been suggested that the production of interrupted calls is indicative of the vigor and fitness of males, which determines their preference for females [36]. Nevertheless, the ratio of both types of calls, the emission pattern and their temporal combination or alternation may also be a mechanism of intraspecific recognition and of interspecific reproductive isolation, especially when several species coexist in sympatry or syntopy. This is because it is widely recognized that *Dendroctonus* species can coexist in space and time in the same locality and tree. Some studies have shown that males approaching the female's gallery produce calls that cause the female to stop producing aggregation pheromones [46]. This may be associated with the colonization and mass attack strategy of these species.

Species	Temporal				Spectral				Reference
	Tooth strike (no./call)	Tooth strike rate (no/s)	Intertooth strike interval (ms)	Call duration (ms)	Minimum frequency (kHz)	Maximum frequency (kHz)	Dominant frequency (kHz)		
<i>Dendroctonus adjunctus</i>	Stress	Single-noted 41.4±0.7	Multiple-noted 1034.3±26.5	1.6±0.23	40±1	2.1±0.14	8.6±0.03	6.5±0.06	Our data in this study
		Multiple-noted 27.6±6.5	585.7±75.2	1.6±0.23	47.2±5.5	4.3±0.04	8.7±0.08	6.7±0.3	
	Male-female	Single-noted 23.8±1.8	675±20.7	1.4±0.04	35.3±3.7	5.6±0.07	7.8±0.08	6.7±0.07	
<i>Dendroctonus ponderosae</i>	Male-female	Multiple-noted 36.9±1.9	532±27.4	1.8±0.09	69.5±1.3	4.3±0.1	7.1±0.07	6±0.06	[29]
	Male-male	Single-noted 16.4±1	611.7±15.5	1.6±0.04	26.8±2	2.7±0.19	8.4±0.07	6.6±0.06	
		Multiple-noted 21.9±0.3	549.6±24	1.8±0.07	40±1.5	2.5±0.41	8.5±0.26	6.2±0.11	
<i>Dendroctonus approximatus</i>	Stress	Single-noted 17.4±1.8	828.5±59.8	1.4±0.1	21.8±1.7	ND	ND	15.6±2.8	[30]
		Multiple-noted 27.9±4.1	593.2±89.5	2.2±2.8	56.3±8.0	ND	ND	18.3±5.8	
	Male-female	Single-noted 21.3±3.5	786.0±63.7	1.4±0.1	30.0±6.8	ND	ND	26.0±4.6	
<i>Dendroctonus brevicornis</i>	Male-female	Multiple-noted 35.0±3.5	433.1±18.8	2.6±0.1	90.0±6.5	ND	ND	21.9±5.9	[47]
	Male-male	Single-noted 16.9±2.2	709.5±40.2	2.6±1.0	28.8±6.3	ND	ND	17.4±1.6	
		Multiple-noted 22.2±2.2	464.0±44.7	2.6±0.2	56.1±8.5	ND	ND	26.4±3.4	
<i>Dendroctonus frontalis</i>	Stress	Single-noted 55.1±0.6	517.6±23.0	ND	108.6±1.2	ND	ND	5.2±0.1	[30]
		Single-noted 61.7±1.2	505.7±12.0	ND	124.5±2.7	ND	ND	5.6±0.12	
	Male-female	Single-noted ND	ND	ND	39.0±12.2	2.99±0.13	10.3±1.68	5.94±1.94	
<i>Dendroctonus pseudotsugae</i>	Stress	Single-noted ND	ND	ND	68.1±27.4	3.86±0.74	14.3±4.21	6.03±1.50	[16]
		Single-noted ND	ND	ND	59.9±19.2	3.85±0.73	18.2±3.84	7.99±4.36	
	Male-female	Single-noted ND	ND	ND	36.4±8.8	2.86±0.42	8.16±2.03	4.92±1.25	
<i>Dendroctonus terebrans</i>	Stress	Single-noted ND	ND	ND	99.3±21.9	6.08±2.23	39.2±3.57	22.6±6.05	[47]
		Single-noted 11.3±0.6	375±79	ND	31±6	ND	ND	ND	
	Male-female	Single-noted ND	ND	ND	124.5±2.7	ND	ND	5.6±0.12	

Table 3. Temporal and spectral measurements of the single-noted and multiple-noted calls in different species of the genus *Dendroctonus*.

Male-male interaction is a special case of stress to avoid physical aggression, which can impede the access of another male to the female or to block his entry into the gallery (territoriality). Although the proportion of single and multiple calls between the stress condition (90%-10%) and the male-male interaction (85%-15%) was similar in this study, significant differences between both conditions were mainly concentrated in temporal characteristics (e.g. rate of tooth strikes, interval between tooth strikes, call duration), suggesting the configuration of different calling patterns in these two stress conditions. The pattern of calls in the male-male interaction could be due to combinations of intimidation or deterrence to avoid physical contact. In fact, the proportion of single- and multi-note calls was similar in males that remained in the arena, but not in males that withdrew, which were only single-note. Similar results were obtained in *D. ponderosae* and were interpreted as a characteristic of rivalry between individuals of the same sex, regardless of the presence of a female or of maintaining or blocking the entrance to the gallery when occupied by a pair [29]. In contrast, in *D. valens*, the sound pattern produced by males was related to their body size, as males competing for females displayed two types of calls, the first was to prevent direct fighting with potential competitors of equivalent size, while the second was to scare away and deter small-sized competitors [48].

In the male-male interaction, both males *D. adjunctus* produced both types of calls while staying together, but when one of the males withdrew, not only did its aggressive behavior change, but also the call sound changed as they were 100% one-noted. The minimum frequency of retreat calls was twice the calls of males while interacting in territoriality, the maximum frequency was lower in retreat calls compared to calls of males that stayed together, and the dominant frequency was very similar in all interactions (Table 2). Differences between the calls of males that remained and those that withdrew showed a wider repertoire of signals compared to those known so far, introducing a new type of sound, the “withdrawal calls”.

These calls when exhibited in conjunction with flight behavior, may be an indicator of surrender by the male. Future studies may provide clarity on the behavioral implications of this type of calls.

Lastly, while AS (signals, auditory organs, stridulatory devices) in other insect orders (e.g., Orthoptera, Hymenoptera, Hemiptera) have been widely studied and associated with a wide range of biological behaviors and environmental factors, in bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) its integration with the chemical communication system, behavior and reproductive ecology has received little attention [1,33,49,50]. In particular, it would be desirable that future studies focus on aspects related to acoustic signals, which, being apparently species- specific, could be involved in isolation and reproductive behavior, as well as in pheromone synthesis, especially in species that produce these compounds *de novo*.

Funding: This research was funded by Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, grant number 2024/1727.

Acknowledgments: We are grateful to biologist José Villa Castillo, director of the Parque Nacional Volcán Nevado de Colima, for his indispensable help in supplying biological material. We also thank park ranger Macedonio, for tree felling and cutting infested by *D. adjunctus*. We also thank Dr. María Gabriela Medina Canales of the Departamento de Parasitología, Instituto Politécnico Nacional.

Mexico City, Mexico, who facilitated the use of the microscope for taking photographs. We also thank Dr. Mayahuel Ortega Avilés for her assistance in taking micrographs with the electron microscope. This work was part of L.L.C.M. PhD dissertation. L.L.C.M. was fellow of Beca de Estimulo Institucional de Formación de Investigadores and Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), we are grateful to three anonymous reviewers for their comments.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Greenfield, M.D. Evolution of Acoustic Communication in Insects. In *Insect Hearing*; Pollack, G.S., Mason, A.C., Popper, A.N., Fay, R.R.; Springer, Springer International Publishing Switzerland, 2016; 55, pp. 215-238. DOI:10.1007/978-3-319-28890-1_2
2. Neil, T.R.; Holdereid, M.W. Sound production and hearing in insects. In *Advances in Insect Physiology*; Jurenka, R.; Academic Press, Amsterdam, 2021; 61, pp. 101-139. DOI:10.1016/bs.aip.2021.10.001
3. Cocroft, R.B.; Rodríguez, R.L. The Behavioral Ecology of Insect Vibrational Communication. *Biosci.* **2005**, *61*, 323-334. DOI:10.1641/0006-3568(2005)055[0323:TBEIV]2.0.CO;2
4. Sanborn, A. Acoustic Communication in Insects. In *Encyclopedia of entomology*. Springer. Dordrecht, 2008. pp. 33-38.
5. Virant-Doberlet, M.; Stritih-Peljhan, N.; Žunic-Kosi, A.; Polajnar, J. Functional Diversity of Vibrational Signaling Systems in Insects. *Annu Rev. Entomol.* **2023**, *68*, 191-210. DOI: 10.1146/annurev-ento-120220-095459
6. Henry, C.S.; Brooks, S.J.; Duelli, P.; Johnson, J. B.; Wells, M.M.; Mochizuki, A. Obligatory duetting behaviour in the *Chrysoperla carnea*-group of cryptic species (Neuroptera: Chrysopidae): its role in shaping evolutionary history. *Biol. Rev.* **2013**, *88*, 787-808. DOI:10.1111/brv.12027
7. Simmons, L.W.; Thomas, M.L.; Simmons, F.W.; Zuk, M. Female preferences for acoustic and olfactory signals during courtship: male crickets send multiple messages. *Behav. Ecol.* **2013**, *24*, pp. 1099-1107. DOI:10.1093/beheco/art036
8. Padimi, V.; Manisha, B.L.; Singh, S.K.; Mishra, V.K. Communication in Insects: A Review. *J. Exp. Zool. India.* **2023**, *26*, pp. 1317-1327. DOI: 10.51470/jez.2023.26.2.1317
9. Seeley, T.D. Thoughts on information and integration in honey bee colonies. *Apidologie* **1998**, *29*, 67-80. DOI: 10.1051/apido:19980104
10. Grüter, C.; Czaczkes, T.J. Communication in social insects and how it is shaped by individual experience. *Anim. Behav.* **2019**, *151*, 207-215. DOI:10.1016/j.anbehav.2019.01.027
11. Montealegre-Z, F.; Soulsbury, C.D.; Elias, D.O. Editorial: Evolutionary Biomechanics of Sound Production and Reception. *Front. Ecol. Evol.* **2023**, *19*, 1- 3. DOI:10.3389/fevo.2021.788711

12. Stumpner, A.; Von Helversen, D. Evolution and function of auditory systems in insects. *Naturwissenschaften*. **2001**. *88*. 159-170. DOI:10.1007/s001140100223
13. Eskov, E.K. The Diversity of Ethological and Physiological Mechanisms of Acoustic Communication in Insects. *IMPRS*. **2017**. *62*. 466-478. DOI:10.1134/S0006350917030034
14. Yack, J. Vibrational signaling. Insect hearing. In *Insect Hearing*; Pollack, G.S., Mason, A.C., Popper, A.N., Fay, R.R.; Springer, Springer International Publishing Switzerland, 2016; 55, pp. 215-238.
15. Ronacher, B.; Römer, H. Insect hearing: from physics to ecology. *J. Comp. Physiol*. **2015**. *201*. 1-4. DOI: 10.1007/s00359-014-0966-3
16. Bedoya, C.L.; Hofstetter, R.W.; Nelson, X.J.; Hayes, M.; Miller, D.R.; Brockerhoff, E.G. Sound production in bark and ambrosia beetles. *Bioacoustics* **2019**, *30*, 58-73. DOI:10.1080/09524622.2019.1686424
17. Wessel, A. 30. Stridulation in the Coleoptera—an overview. In *Insect Sounds and Communication. Physiology, Behaviour, Ecology and Evolution*, Drosopoulos, S.; Claridge, MF, Eds.; Taylor & Francis, Boca Raton, United States of America, 2006; pp- 397-403.
18. Safarayik, L.; Carroll, A. The biology and epidemiology of mountain pine beetle in Lodgepole pine forest. In *The mountain Pine Beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine*; Safarayik, L.; Wilson, B., Eds.; Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, Canada, 2006; pp. 3-36.
19. Six, D.L.; Bracewell, R. Chapter 8 *Dendroctonus*. In *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*; Vega, F.E.; Hofstetter, R.W., Eds.; Academic Press: San Diego, United States of America, 2015; pp. 305-350.
20. Wegensteiner, R.; Wermelinger, B.; Herrmann, M. Chapter 7 Natural enemies of bark beetles: predators, parasitoids, pathogens, and nematodes. In *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*; Vega, F.E.; Hofstetter, R.W., Eds.; Academic Press: San Diego, United States of America, 2015; pp. 305-350.
21. Six, D.L. The bark beetle holobiont: why microbes matter. *J. Chem. Ecol* **2013**, *39*, 989-1002. DOI:10.1007/s10886-013-0318-8
22. Simon, J.C.; Marchesi, J.R.; Moguel, C.; Selosse, M.A. Host- microbiota interactions; from holobiont theory to analysis. *Microbiome* **2019**, *7*, 1-5. DOI:10.1186/s40168-019-0619-4
23. Salinas-Moreno, Y.; Ager, A.; Vargas, C.F.; Hayes, J.L.; Zúñiga, G. Determining the vulnerability of Mexican pine forest to bark beetles of the genus *Dendroctonus* Erichson (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *For. Ecol. Manag.* **2010**, *260*. 52-61. DOI:10.1016/J.FORECO.2010.03.029
24. Raffa, K.F.; Gregoire, J.C.; Lindgren, B.S. Natural history and ecology of bark beetles. In *Bark Beetles: Biology and Ecology of Native and Invasive Species*; Vega, F.E.; Hofstetter, R.W., Eds.; Academic Press: San Diego, United States of America, 2015; pp. 305-350.
25. Wood, D.L. The role of pheromones, kairomones, and allomones in the host selection and colonization behavior of bark beetles. *Annu. Rev. Entomol.* **1982**, *27*, 411-446. DOI:10.1146/ANNUREV. EN.27.010182.002211
26. Gitau, C.W.; Bashford, R.; Carneige, A.J.; Gurr, G.M. A review of semiochemicals associated with bark beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) pest of coniferous trees: A focus on beetle interactions with other pest and associates. *For. Ecol. Manag.* **2013**, *297*, 1-14. DOI:10.1016/j.foreco.2013.02.019

27. Ćokl, A.; Virant-Doberlet, M. Communication with substrate-borne signals in small plant-dwelling insects. *Annu. Rev. Entomol.* **2003**, *48*, 29-50. DOI: 10.1146/annurev.ento.48.091801.112605
28. Lyal, C.H.C.; King, T. Elytro-tergal stridulation in weevils (Insecta: Coleoptera: Curculionoidea). *J. Nat. Hist.* **1996**, *30*, 703-773. DOI:10.1080/00222939600770391
29. Fleming, A.J.; Lindeman, A.A.; Carrol, A.L.; Yack, J.E. Acoustics of the mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) (Curculionidae, Scolytinae): sonic, ultrasonic, and vibration characteristics. *Can. J. Zool.* **2013**, *91*, 235-244. DOI:10.1139/cjz-2012-0239
30. Yturralde, K.M.; Hofstetter, R.W. Characterization of stridulatory structures and sounds of the larger Mexican pine beetle, *Dendroctonus approximatus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinaae). *Fla. Entomol.* **2015**, *98*, 515-527. DOI:10.1653/024.098.0219
31. Bedoya, C.L.; Brockerhoff, E.G.; Haye, M.; Pawson, S.M.; Najjar- Rodríguez, A.; Nelson, X.J. Acoustic communication of the red-haired bark beetle *Hylurgus ligniperda*. *Physiol. Entomol.* **2019**, *44*, 252-265. DOI:10.1111/phen.12301
32. Lukić, I.; Bedoya, C.L.; Hofstetter, E.M.; Hofstetter, R.W. Pinyon engraver beetle acoustics: stridulation apparatus, sound production and behavioral response to vibroacoustic treatments in logs. *Insects* **2021**, *12*, 1-19. DOI:10.3390/insects12060496
33. Arjomandi, E.; Turchen, L.M.; Conolly, A.A.; Léveillé, M.B.; Yack, J.E. Acoustic communication in bark beetles (Scolytinae): 150 years of research. *Physiol. Entomol.* **2024**, 1-20. DOI:10.1111/phen.12453
34. Michael, R.R.; Rudinsky, J.A. Sound production in Scolytidae: specificity in male *Dendroctonus* beetles. *J. Insect Physiol.* **1972**, *18*, 2189-2201. DOI:10.1016/0022-1910(72)90248-X
35. Ryker, L.C. Acoustics studies of *Dendroctonus* bark beetles. *Fla. Entomol.* **1988**, *77*, 447-461. DOI:10.2307/3495004
36. Lindeman, A. A.; Yack, J. E. What is the password? Female bark beetles (Scolytinae) grant males access to their galleries based on courtship song. *Behav. Process* **2015**, *115*, 123-131. DOI:10.1016/j.beproc.2015.03.009
37. Wood, S. L. The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a taxonomic monograph. *Great Basin Nat.* 1982 *6*, 1–1359. DOI:10.1080/00779962.1987.9722496
38. Salinas-Moreno, Y.; Vargas, C. F.; Zúñiga, G.; Víctor, J.; Ager, A.; Hayes, J.L. Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México/Atlas of the geographic distribution of bark beetles of the genus *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) in Mexico. 2010. Instituto Politécnico Nacional. Comisión Nacional Forestal México. México.
39. Lyon, R.L. A useful secondary sex character in *Dendroctonus* bark beetles. *Can. Entomol.* **1958**, *90*, 582-584. DOI:10.4039/Ent90582-10
40. Barr, B.A. Sound production in Scolytidae with emphasis on the genus *Ips*. *Can. Entomol.* **1969**, *101*, 636–672. DOI:10.4039/Ent101636-6
41. Rudinsky, J. A.; Ryker, L. C. Sound production in Scolytidae: rivalry and pre-mating stridulation of male Douglas-fir beetle. *J. Insect Physiol.* **1976**, *22*, 997-1003. DOI:10-1016/0022-1910(76)90083-4
42. HAMMER, O. Past 4.03 [SI]: Softpedia, 2022.
43. Michael, R. R.; Rudinsky, J. A. Sound production in Scolytidae: specificity in male *Dendroctonus* beetles. *J. Insect Physiol.* **1972**, *18*, 2189-2201. DOI:10.1016/0022-1910(72)90248-X

44. Pajares, J. A.; Lanier, G.L. Biosystematics of the turpentine beetle *Dendroctons terebrans* and *D. valens* (Coleoptera: Scolytidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **1990**, *83*, 171–188. DOI:10.1093/AESA/83.2.171
45. Cerrillo-Mancilla, L.L. (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Ciudad de México, México). Personal communication, 2024.
46. Rudinsky, J. A.; Michael, R. R. Sound production in Scolytidae: stridulation by female *Dendroctonus* beetles. *J. Insect Physiol.* **1973**, *19*, 689-705. DOI:10.1016/0022-1910(73)90078-4
47. Munro, H. L.; Sullivan, B. T.; Villari, C.; Gandhi, K. J. A review of the ecology and management of black turpentine beetle (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* **2019**, *48*, 765-783. DOI:10.1093/ee/nvz050
48. Liu, Z. D.; Wickham, J. D.; Sun, J. H. Fighting and aggressive sound determines larger male to win male-male competition in a bark beetle. *Insect science* **2021**, *28*, 203-214. DOI:10.1111/1744-7917.12748
49. Fonseca, P. J. Cicada acoustic communication. In *Insect hearing and acoustic communication*. Hedwig, B. Eds. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, Germany, 2013 pp. 101-121
50. Hall, M.; Robinson, D. Acoustic signalling in Orthoptera. In *Advances in Insect Physiology*. Academic Press. 2021, 61, pp. 1-99

SUPPLEMENTARY MATERIALS

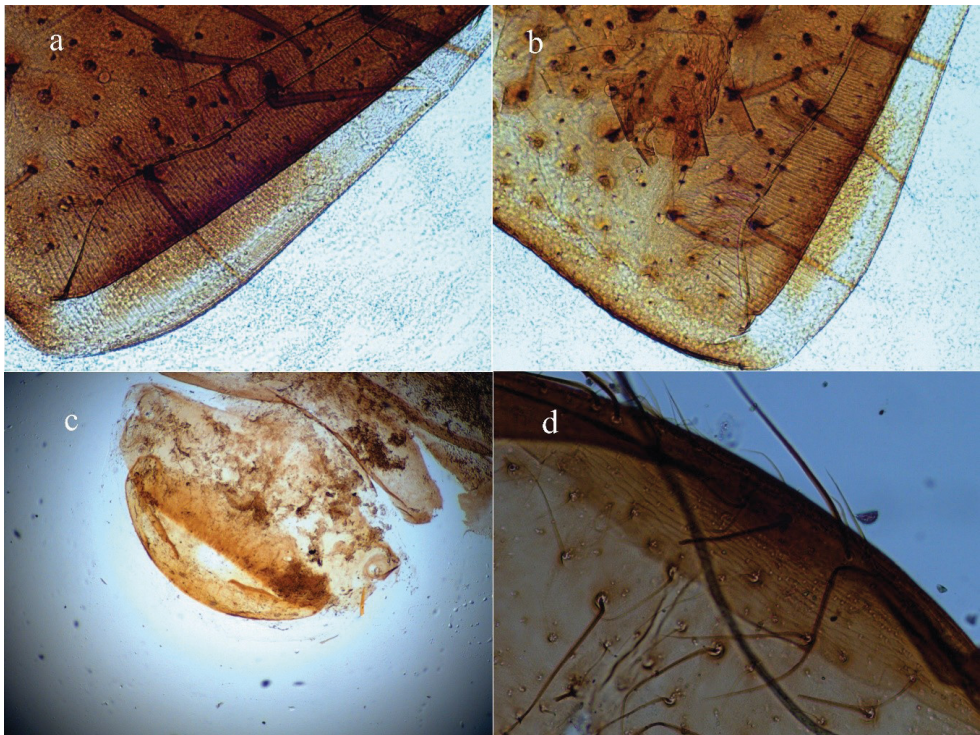


Figure S1. Structure of the stridulatory apparatus of *D. adjunctus* female. (a and b) left elytra, (c) absence of plectrum, and (d) pars stridens in the last sternite.

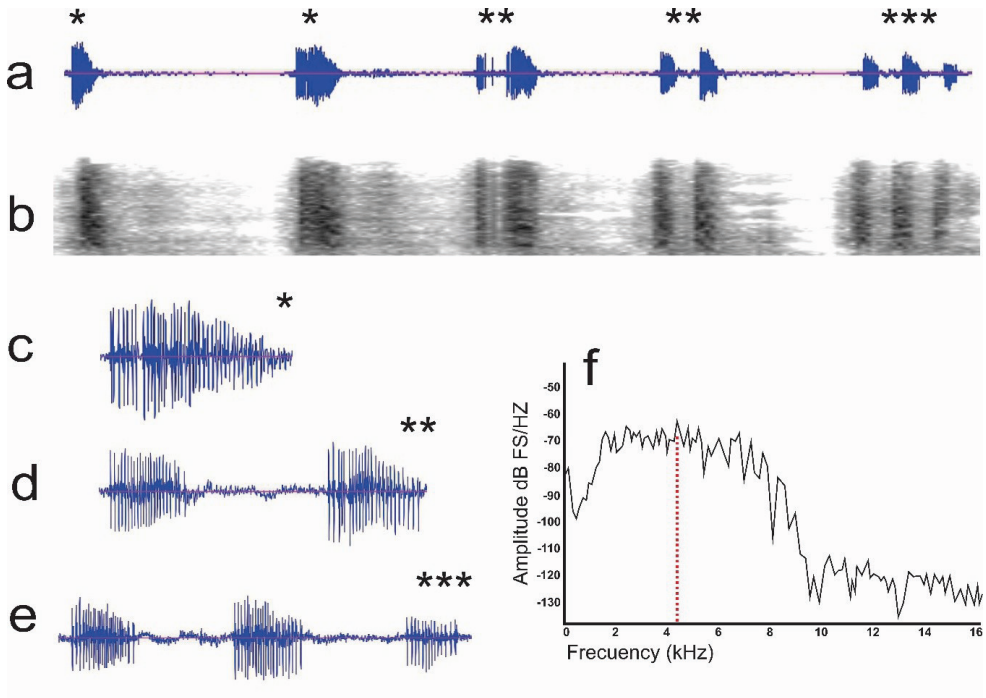


Figure S2. Wave diagram and spectrogram of the male of *Dendroctonus approximatus* in stress condition. (a) Wave diagram, single-noted call (*), multiple-noted call (two note ** and three note ***), and (b) spectrogram of the stress condition, amplification of a (c) single-noted call and multiple-noted call of (d) two note and (e) three note, and (f) single-noted call relative power diagram.

USO TERAPÊUTICO DE INSETOS NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Data de submissão: 18/12/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Lucas Ortega Martins

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/0547225899568479>

Cristiano Ramos Gonçalves

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/0977797031551559>

Walkiria Aparecida Benites

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/4566526904518087>

Marildo da Silva Pedro

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências da
Saúde, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/8310306306240653>

Valter Vieira Alves Junior

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências da
Saúde, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/8439693406231389>

Debora da Silva Baldivia

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais, Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/2035016419817481>

RESUMO: Os insetos representam o maior grupo animal e destacam-se pela notável diversidade. Embora associados a pragas e doenças, muitos são historicamente utilizados em práticas de medicina tradicional, produzindo substâncias bioativas úteis no tratamento de várias doenças. Apesar da biodiversidade brasileira, o conhecimento sobre as propriedades medicinais dos insetos permanece limitado. Entender essas propriedades é crucial para ampliar fontes naturais benéficas à saúde humana e descobrir novos agentes terapêuticos. Neste estudo, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o uso medicinal de insetos no Brasil, com buscas em bases de dados nacionais e internacionais usando os termos “insetos”, “produtos naturais”, “entomoterapia” e “medicina tradicional”. Foram identificadas 33 espécies de insetos, distribuídas em cinco ordens e relacionadas a 45 indicações terapêuticas. As ordens mais representativas foram Hymenoptera, seguida por Coleoptera, Blattodea, Lepidoptera e Orthoptera. Entre as espécies citadas destacam-se *Apis mellifera*, *Trigona spinipes* e *Melipona scutellaris*. Formas terapêuticas incluem chá, cera, própolis, mel e larvas, com indicações como asma, tosse, gripe e feridas. Embora promissor, o

uso medicinal de insetos no Brasil ainda é pouco explorado, considerando sua biodiversidade e riqueza cultural. Ressalta-se a importância de conduzir pesquisas éticas que valorizem os saberes tradicionais, garantindo retorno às comunidades detentoras. Este estudo reforça o potencial dos insetos como fontes medicinais e a necessidade de integrar saberes tradicionais e científicos, promovendo avanços na saúde, inovação farmacêutica e conservação da biodiversidade.

PALAVRAS-CHAVE: Etnoentomologia; entomologia médica; produtos naturais; bioprospecção

THERAPEUTIC USE OF INSECTS IN BRAZIL: A BIBLIOGRAPHICAL REVIEW

ABSTRACT: Insects represent the largest animal group, characterized by remarkable diversity. Although often associated with pests and diseases, many have been historically used in traditional medicine, producing bioactive substances valuable for treating various illnesses. Despite Brazil's vast biodiversity, knowledge about the medicinal properties of insects remains limited. Understanding these properties is essential for expanding natural sources beneficial to human health and discovering new therapeutic agents. This study conducted a bibliographic review on the medicinal use of insects in Brazil, utilizing national and international databases with search terms such as "insects," "natural products," "entomotherapy," and "traditional medicine." A total of 33 insect species, distributed across five orders, were identified and associated with 45 therapeutic indications. The most representative orders were Hymenoptera, followed by Coleoptera, Blattodea, Lepidoptera, and Orthoptera. Prominent species included *Apis mellifera*, *Trigona spinipes*, and *Melipona scutellaris*. Therapeutic forms included tea, wax, propolis, honey, and larvae, with applications for asthma, cough, flu, and wounds. Despite its potential, the medicinal use of insects in Brazil remains underexplored, considering the country's extensive biodiversity and cultural richness. The importance of conducting ethical research that values traditional knowledge and ensures equitable benefits for knowledge-holding communities is emphasized. This study underscores the potential of insects as medicinal resources and highlights the necessity of integrating traditional and scientific knowledge, fostering advancements in health, pharmaceutical innovation, and biodiversity conservation.

KEYWORDS: Ethnoentomology; medical entomology; natural products; bioprospecting

INTRODUÇÃO

Os insetos compõem um dos maiores e mais diversos grupos de animais do planeta. Estimativas sugerem que globalmente existem aproximadamente 5,5 milhões de espécies de insetos, com um milhão já descritas (Stork, 2018). Apesar de seu tamanho diminuto, desempenham papéis cruciais na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas e são indispensáveis para a sobrevivência humana. Da polinização à decomposição, os insetos contribuem para inúmeros processos ecológicos, tornando sua conservação essencial para preservar a biodiversidade e garantir a sustentabilidade do nosso planeta. Além de sua importância ecológica, os insetos também ocupam um lugar notável na medicina tradicional e nas práticas terapêuticas em todo o mundo.

Ao longo da história, os insetos desempenharam um papel significativo na medicina tradicional em várias culturas em todo o mundo, oferecendo uma infinidade de benefícios terapêuticos, seja de seu uso isolado ou em combinação com plantas medicinais no tratamento de doenças (Ouango *et al.*, 2022; Siddiqui *et al.*, 2023). Essa prática decorre de uma profunda compreensão do mundo natural e da crença no poder de cura dessas criaturas em todo o mundo (Devi *et al.*, 2023). Seja na forma de pós, extratos ou insetos inteiros, sua utilização na medicina tradicional reflete uma abordagem holística da saúde que integra a natureza às práticas de cura humanas (Siddiqui *et al.*, 2023).

A diversidade de insetos utilizados na medicina tradicional é vasta, variando de besouros, formigas, abelhas e lagartas, oferecendo propriedades terapêuticas distintas. Na medicina tradicional chinesa, por exemplo, o uso medicinal de insetos como cigarras e cupins remonta a séculos, com remédios utilizados em doenças de pele, desconforto da garganta, combate a alergias, no tratamento de asma, bronquite, gripe e sinusite (Zhang *et al.*, 2023).

Além disso, produtos derivados de insetos, como o mel produzido por abelhas ou a laca secretada por insetos *lac*, há muito são valorizados por suas aplicações medicinais e cosméticas (Bashir *et al.*, 2022). Estudos científicos recentes começaram a descobrir os compostos químicos presentes nos insetos que contribuem para seus efeitos terapêuticos, abrindo novos caminhos para a pesquisa e o desenvolvimento de potenciais fármacos (Aiello *et al.*, 2023; Rivas-Navia *et al.*, 2023; Sánchez-Estrada *et al.*, 2024). A medicina baseada em insetos, não apenas destaca a desenvoltura das práticas tradicionais de cura, mas também ressalta a importância de conservar a biodiversidade de insetos para futuros fins medicinais e desenvolvimento de novos fármacos para a saúde humana.

O Brasil é detentor de uma das maiores biodiversidades do planeta, com alto grau de endemismo distribuídos em seis biomas distintos. Desta forma, o país apresenta um potencial significativo para a descoberta de novas fontes de compostos bioativos. Nesse contexto, esta revisão compila estudos científicos que descrevem o uso de insetos na medicina tradicional e seus subprodutos pela população brasileira. Além disso, destaca as espécies mais frequentemente citadas em correlação com aplicações terapêuticas através de uma rede de interações. Ao lançar luz sobre a utilização popular e tradicional de insetos para fins medicinais, esta revisão estabelece uma base promissora para investigações futuras no campo da bioprospecção em busca da descoberta e/ou desenvolvimento de novos medicamentos.

METODOLOGIA

O presente estudo corresponde a uma revisão sistemática qualitativa de artigos científicos que descrevem conhecimentos etnoentomológicos existentes em comunidades e povos tradicionais brasileiros. Para isso, foi realizada uma varredura nos seguintes bancos de dados: *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), *Scopus*, *Web of Science*, *National Library of Medicine* (NIH.gov) e *Biblioteca Virtual em Saúde* (BVS).

Para a busca, utilizou-se as seguintes palavras-chave combinadas entre si e separadamente: “etnoentomologia” ou “*ethnoentomology*”, “comunidades tradicionais” ou “*traditional communities*”, “conhecimentos tradicionais” ou “*traditional knowledge*”, “conhecimentos indígenas” ou “*indigenous knowledge*”, “uso popular” ou “*popular use*”, “insetos” ou “*insects*” e “Brasil” ou “*Brazil*”. Os critérios de inclusão adotados foram: artigos originais publicados em língua inglesa ou portuguesa, disponíveis na íntegra, com listas claras de quais insetos e/ou produtos oriundos de insetos, forma de preparo e uso terapêutico, presentes na medicina tradicional e popular no território brasileiro. Foram excluídas teses, dissertações e monografias não publicadas/revisadas por pares assim como trabalhos publicados em anais de congresso (figura 1).

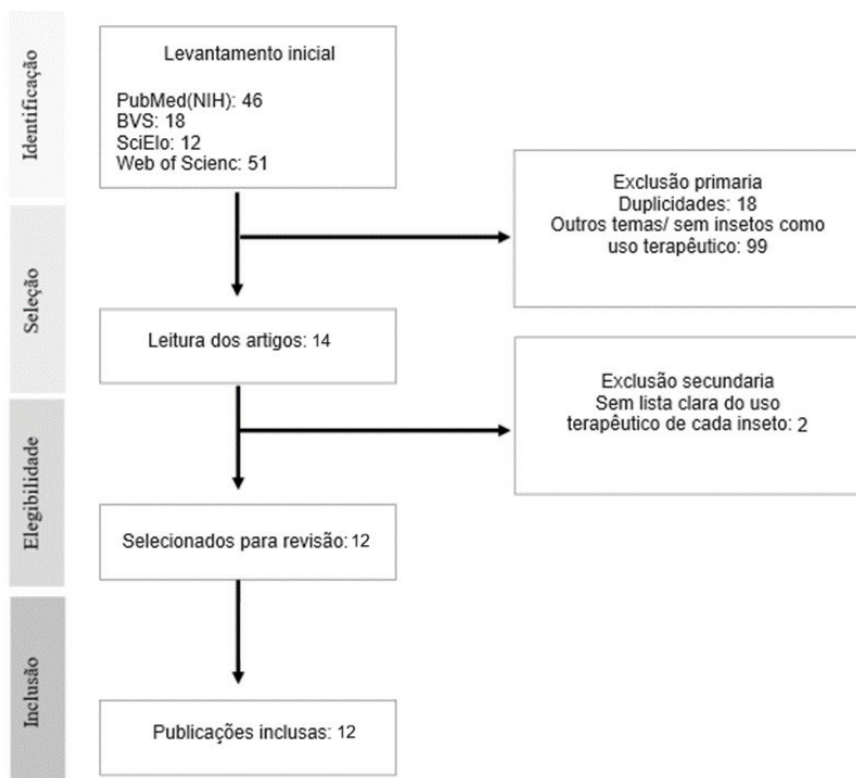


Figura 1. Quantidade de artigos encontrados em cada uma das bases, e critérios de aceitação ou exclusão para compor o material do levantamento bibliográfico em cada etapa.

A partir da seleção dos artigos, foi organizada as ordens de insetos mais citadas, bem como as formas e usos terapêuticos mais comuns associados a elas. Em seguida, utilizamos uma sequência de ordenação baseado em rede de interação entre as espécies compiladas e os seus respectivos usos terapêuticos, com uma matriz de presença levando em consideração em quantos estudos era citado o uso terapêutico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação das ordens mais citadas para uso terapêutico no Brasil

Com base nos critérios de seleção estabelecidos, ao total, foram identificados nove artigos que abordam o tema etnoentomologia com clareza sobre os animais e seus subprodutos para usos terapêuticos. Esses artigos descrevem 33 espécies de insetos que são utilizados na medicina popular brasileira, cada uma associada a aspectos culturais, seja relacionado a comunidades rurais, povos tradicionais ou culturas nativas. Em termos de frequência, cada uso terapêutico obteve 121 citações únicas. A ordem com maior destaque foi Hymenoptera, correspondendo 87 citações, mais de 75%, seguida por Blattodea com 13 citações. Apesar da menor diversidade de espécies descritas para uso medicinal, Blattodea teve mais citações que Coleoptera, que obteve 10 citações, ocupando o terceiro lugar. O quarto e quinto lugares foram ocupados por Orthoptera com oito citações, e Lepidoptera com três citações, respectivamente (figura 2). As ordens Lepidoptera, Coleoptera, e Hymenoptera são os táxons de insetos mais proeminentes utilizados na medicina popular por diferentes comunidades do mundo (Devi *et al.*, 2023).

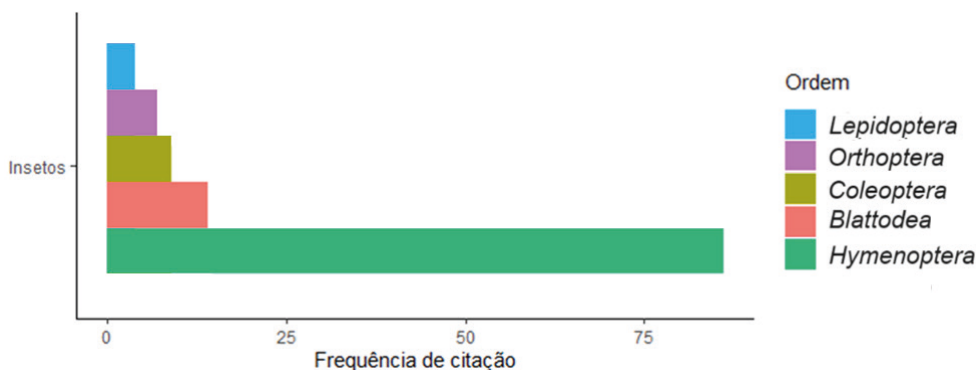


Figura 2: Frequência de citações de cada ordem dos insetos no uso medicinal.

Espécies utilizadas para uso medicinal popular no Brasil

No total, 33 espécies de insetos utilizados na medicina popular foram compiladas da literatura científica. Essas espécies encontram-se distribuídas em cinco ordens, conforme descrito na tabela 1. Hymenoptera é a ordem mais representativa em número de espécies medicinais (15), seguido por Coleoptera (7), Blattodea (6), Lepidoptera (3) e Orthoptera (2).

Ordem	Família	Espécie	Nome popular	Forma terapêutica	Referências
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Abelha europeia	Chá do inseto, mel, cera, própolis, inseto macerado e favos	Neto (2002); Neto <i>et al.</i> (2006); Moura & Marques (2008); Ferreira <i>et al.</i> (2009); Neto (2011); Alves <i>et al.</i> (2012)
		<i>Cephalotrigona capitata</i>	Mombucão	Mel, cera e pupa	Alves <i>et al.</i> (2012)
		<i>Melipona mandacaia</i>	Mandaçaia	Mel, cera e samburá	Moura & Marques (2008); Neto (2011)
		<i>Melipona scutellaris</i>	Uruçu ou uruçu do nordeste	Mel, cera e pupa	Santos; Antonini (2008); Moura & Marques (2008); Ferreira <i>et al.</i> (2009)
		<i>Melipona subnitida</i>	Jandaíra ou jandaíra do nordeste	Mel	Santos & Antonini (2008); Neto (2011); Alves <i>et al.</i> (2012)
		<i>Tetragonisca angustula</i>	Jataí-amarela ou abelha-ouro	Mel	Santos & Antonini (2008); Neto (2011); Alves <i>et al.</i> (2012)
		<i>Partamona cupira</i>	Cupira	Cera	Ferreira <i>et al.</i> (2009); Alves <i>et al.</i> (2012)
		<i>Trigona spinipes</i>	Arapuá	Mel e samburá	Ferreira <i>et al.</i> (2009)
	Vespidae	<i>Apoica pallens</i>	Vespa chuveiro	Ferroada, consumo de adulto	Neto (2002); Neto (2011)
		Eumenini sp1	Marimbondo	Ferroada e pupa	Neto (2011)
	Mutillidae	Mutillidae sp 1	Formiga feiticeira	Ferroada, inseto adulto e macerado	Neto (2002); Neto (2011); Diniz (2019)
	Cabronidae	<i>Trypoxylon</i> sp1	Vespa madeira	Inseto adulto	Neto (2006)
	Formicidae	<i>Atta</i> sp1	Formiga cortadeira	Macerado	Diniz (2019); Neto (2011); Costa-Neto (2002)
		<i>Dinoponera quadriceps</i>	Tucandira	Inseto adulto e mordida do inseto	Silvestre; Neto (2020)
		Ponerinae sp1	Formiga de estalo	Consumo do abdômen	Silvestre; Neto (2020)
Coleoptera	Cicindelidae	Cicindelinae sp 1	Besouro Tigre	Consumo de pernas e asas	Moura; Marques (2008)
	Curculionidae	Curculionidae sp 1	Bicudo	Inseto adulto e asas	Neto (2011)
		<i>Rhynchophorus palmarum</i>	Broca-do-coqueiro	Inseto adulto e a cabeça	Molina <i>et al.</i> (2023)
	Dynastinae	Dynastinae sp 1	Besouro-elefante	Consumo do chifre, Macerado	Neto <i>et al.</i> (2006)
	Meloidae	<i>Meloe vesicatorius</i>	Besouro-verde	Inseto macerado	Nomura (2007)
	Bruchidae	<i>Pachymerus nucleorum</i>	Coró	Pupa e larvas	Neto (2011)
	Tenebrionidae	Tenebrionidae sp1	Bicho-da-farinha	Larvas	Neto <i>et al.</i> (2006)

Blatto- dea	Blattidae	<i>Eurycotis manni</i>	Barata da mata, Carocha	Imaturos	Neto (2002); Neto <i>et al.</i> (2006)
		<i>Periplaneta americana</i>	Barata da cidade	Pernas e macerado	Neto (2011)
	Isoptera	Isoptera sp1	Cupim de cabeça vermelha	Ninho/terra do ninho, inseto adultos e macerado	Lima & dos Santos (2010)
	Termitidae	<i>Nasutitermes macrocephalus</i>	Cupim roxo	Ninho, inseto adultos	Alves <i>et al.</i> (2012); Lima & dos Santos (2010)
		Termitidae sp1	Cupim branco	Ninho/terra do ninho	Neto (2002); Ferreira <i>et al.</i> (2009); Neto (2011)
Lepidop- tera	Psychidae	<i>Oiketiscus</i> sp1	Bicho de cesto	Pupa e cesto	Nomura (2007)
	Sphingidae	Sphingidae sp1	Mariposa	Inseto adulto e asas	Nomura (2007)
	<i>Megalopyge</i>	<i>Trosia</i> sp1	Mariposa	Consumo do adulto, macerado	Costa Neto (2011)
Orthop- tera	Gryllotalpidae	Gryllotalpidae Sp 1	Paquinha	Consumo de pernas, macerados	Ferreira <i>et al.</i> (2009); Diniz (2019)
	Gryllidae	<i>Gryllus assimilis</i>	Grilo	Pernas e asas	Neto (2002); Neto (2011); Ferreira <i>et al.</i> (2009)

Tabela 1: Diversidade total (registrada) de insetos e subprodutos utilizados na medicina popular.

Fonte: Autores (2024).

As 15 espécies de insetos listadas para a ordem Hymenoptera estão distribuídas em cinco famílias: Apidae, Vespidae, Mutillidae, Cabronidae e Formicidae. Hymenoptera é a terceira maior ordem de insetos e nela estão incluídas abelhas, vespas e formigas. Caracterizam-se por apresentar asas membranosas e ovipositor bem desenvolvido (estrutura utilizada para a postura de ovos). Este grupo diversificado de insetos desempenha papéis importantes nos ecossistemas como polinizadores, predadores e necrófagos, bem como, para a saúde humana.

A família Apidae apresenta espécies descritas para uso medicinal, com achados sobre o uso do inseto adulto, macerado ou em infusão para o preparo de chás. Além dos insetos, foram documentados o uso de seus subprodutos, como mel, própolis, cera, favos, ninho e samburá (massa de pólen) (Melo *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2021). Esses produtos naturais apícolas são excelentes fontes de compostos bioativos e de macronutrientes e micronutrientes, que, de forma sinérgica, conferem múltiplas atividades biológicas a esses subprodutos, tais como propriedades antimicrobianas, antifúngicas, antioxidantes, anticancerígenas e anti-inflamatórias (Campos *et al.*, 2021; Giampieri *et al.*, 2022; Zuhendri *et al.*, 2022; Rodriguez-Canales *et al.*, 2023).

O mel por exemplo, é consumido não apenas como fonte de energia e condimento, mas também é recomendado no tratamento de condições respiratórias, como asma, tosse, gripe e garganta inflamada. Povos tradicionais também empregam o mel para tratar feridas e queimaduras, devido às suas propriedades antimicrobianas e cicatrizantes (Tashkandi, 2021). Além disso, a cera de abelhas nativas sem ferrão é aplicada externamente em feridas,

para promover a cicatrização e tratar inflamações no ouvido (Rodrigues, 2006; Nascimento *et al.*, 2010). A ferroadada da *Apis mellifera*, por sua vez, é tradicionalmente utilizada para aliviar dores nas articulações e artrite, mostrando a versatilidade dos produtos apícolas na medicina popular (Neto & Rodrigues, 2005).

Vespidae é o nome científico de uma família de insetos conhecidos como vespas. Apenas 2 espécies de vespas foram mencionadas na literatura científica quanto ao seu uso medicinal, especialmente para o tratamento da caxumba através da aplicação da ferroadada. Essas espécies incluem *Apoica pallens* e *Eumenini* sp1. O veneno da vespa é um reservatório essencial de moléculas farmacologicamente ativas, com inúmeras atividades biológicas, tais como, antimicrobiana, antitumorais, anti-inflamatórias, bem como para o tratamento de artrite reumatoide, acidente vascular cerebral isquêmico, doença de Alzheimer, doença de Parkinson e epilepsia (Luo *et al.*, 2022).

Diversos representantes da ordem Hymenoptera, como os Mutillidae (conhecidos popularmente como formigas-feiticeiras), Crabronidae (vespas) e Formicidae (formigas), têm sido relatados com usos terapêuticos em diferentes contextos. A família Mutillidae (*Eumenini* sp1), por exemplo, em combinação com *Periplaneta americana* (Blattidae: Blattodea), ambos macerados, são indicados para o tratamento de epilepsia. Além disso, *Trosia* sp1 (Crabronidae), assim como outras vespas da família Vespidae, filogeneticamente próximas, são tradicionalmente usadas para o tratamento de caxumba. No caso das formigas, a diversidade de usos terapêuticos relatada é notável. O abdômen de *Ponerinae* sp1 é utilizado para o tratamento de asma, enquanto o inseto adulto de *Dinoponera quadriceps* é empregado para aliviar dores de ouvido. Já a espécie *Atta* sp1, quando macerada, é consumida junto com ervas para tratar cálculos renais.

Em relação aos coleópteros, ao total foram citadas seis famílias utilizadas para fins medicinais, dentre elas: Meloidae e Tenebrionidae são as mais estudadas pela ciência, na medicina chinesa são usadas para terapias anticâncer, para hematomas e prisão de ventre, por exemplo (Juanjie *et al.*, 1995; Deyrup *et al.*, 2021). Os besouros da família Meloidae são estudados por produzirem uma substância chamada cantaridina, um terpeno tóxico com função defensiva que é liberado externamente como exsudato hemolinfático (Muzzi *et al.*, 2022). Cientificamente, diversos estudos tem mostrado os efeitos anticâncer da cantaridina em diferentes linhagens de células cancerosas (Sahu & Tomar, 2019; Naz *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2023; Yan *et al.*, 2023). Neste levantamento, os insetos da família Meloidae são utilizados principalmente por comunidades do nordeste, são conhecidos pela substância que podem expelir e provocar queimaduras, seu abdome é principalmente utilizado macerado e aplicado na pele para tratar inflamações (Neto & Rodrigues, 2005; Neto & Rodrigues, 2006).

No caso da família Curculionidae, pesquisas realizadas no Irã demonstram a utilização de casulos de muda para o tratamento de diabetes, sugerindo potenciais propriedades terapêuticas dessas estruturas (Heidari *et al.*, 2022). No Brasil, para a etnia indígena Guarani-Kaiowá também há registro do uso de insetos dessa família, utilizando pupas maceradas para a produção de óleo medicinal, empregado no tratamento de feridas cutâneas e doenças respiratórias (Vilharva *et al.*, 2021). Em relação às famílias Dynastidae, Bruchidae e Cicindelidae, embora a literatura descreva de forma mais limitada a relação entre essas espécies e terapias tradicionais, alguns estudos brasileiros oferecem insights interessantes. Para Cicindelidae, foi observado o uso de pernas e asas maceradas para o tratamento de falta de ar. No caso de Bruchidae, há relatos do uso de larvas para o tratamento de feridas na pele, com propriedades cicatrizantes, enquanto Dynastidae é mencionada no alívio de dores abdominais e no tratamento de asma (Neto & Pacheco, 2005).

Em Blattodea foram identificadas duas famílias, sendo elas Blattidae e Termitidae, e um “Isoptera” que foi descrito apenas como Isoptera sp1, sem possibilidade de identificação da família com acurácia. Blattodea é a ordem que inclui as baratas, *Periplaneta americana* L está entre as espécies mais estudadas por seu valor medicinal na China (Zhang *et al.*, 2023). Pelo menos 3 medicamentos derivados de baratas foram aprovados para terapia clínica na China: ‘Kangfuxin’ (KFX), ‘Xinmailong’ (XML) e ‘Ganlong Capsule’ (GLC). O KFX é produzido a partir do extrato etanólico de *P. americana* e tem sido utilizado no tratamento de mucosite induzida por quimioterapia e úlceras gastrointestinais (Luo *et al.*, 2016; Zou *et al.*, 2019). Esta revisão revela que esse tipo de barata é mencionada como recurso terapêutico para o tratamento de doenças respiratórias, incluindo asma, bronquite e gripe prolongada, além de condições como dor de ouvido (Alves & Dias, 2010).

A barata nativa *Eurycotis manni* foi registrada no Brasil como um recurso terapêutico tradicionalmente utilizado no Nordeste e por algumas comunidades urbanas de pequeno porte, especialmente em cidades do interior. Nessas práticas, o inseto adulto é macerado e empregado no alívio de dores de cabeça (Alves *et al.*, 2008). Para os Térmitas (cupins de modo geral), destacaram-se a utilização de adultos e imaturos, assim como partes de seus ninhos. A espécie *Nasutitermes macrocephalus* é empregada no tratamento de tosse e bronquites, conforme descrito por Alves *et al.* (2009). Já Termitidae sp1 é utilizado por populações ribeirinhas do Norte do Brasil, seja por meio do consumo dos adultos ou pelo uso de partes do ninho em práticas de defumação, visando o alívio de problemas respiratórios (Silva, 2008).

Lepidoptera é a quarta ordem com maior número de espécies de insetos utilizadas na medicina popular de acordo com a literatura. As espécies identificadas na revisão bibliográfica foram *Oiketicus* sp1 (Psychidae), utilizada por comunidades ribeirinhas assim como comunidades tradicionais de cidades de interior para doenças respiratórias (Alves *et al.*, 2010). Além disso, Sphingidae sp1, tanto quanto em *Trosia* sp1 (*Megalopyge*) são empregadas por pequenos povoados no Nordeste. Sphingidae sp1 é utilizada inteiro para tratar problemas respiratórios como asma, enquanto *Trosia* sp1 é utilizada na forma adulta ou da lagarta macerada para o tratamento de queimaduras por meio de aplicação direta (Neto & Pacheco, 2005).

Os insetos da ordem Orthoptera, são amplamente conhecidos por emitir sons característicos, como o chilrear ou zumbido, produzidos pela fricção de suas asas ou pernas. Esses sons têm funções importantes na comunicação e no acasalamento. Para essa ordem foram descritas duas espécies em duas famílias. Gryllotalpidae sp1, popularmente conhecida como paquinha, foi relatado o uso de suas pernas maceradas. Outra espécie relevante mencionada é *Gryllus assimilis*, o grilo comum, indicado em alguns trabalhos para o tratamento tradicional de infecções urinárias, tanto em pequenas cidades do nordeste quanto por povos tupinambás (Alves & Dias, 2010; Apodonepa & Barreto, 2015).

Relação inseto e formas terapêuticas

No Brasil, foram registradas 87 citações relacionadas à forma terapêutica, abrangendo 32 espécies diferentes e 45 sintomas distintos, conforme ilustrado na Figura 3. Das 87 citações de uso medicinal relacionadas a espécies da ordem Hymenoptera, 21 referem-se à *Apis mellifera*, para essa espécie, o mel é predominantemente mencionado no tratamento de inflamações e gripes, enquanto a cera é associada ao tratamento de gastrite. Além disso, a ferroada da *A. mellifera* é citada no tratamento para reumatismo e artrose. No total, *A. mellifera* foi referida em até 16 diferentes usos terapêuticos. Hymenoptera é descrita em até 31 diferentes aplicações terapêuticas, representando a maior diversidade de usos medicinais entre os grupos avaliados. Óleos de *Melipona mandaçaia* (Apidae) são indicados para o tratamento de impetigo e feridas na pele, bem como *Pachymerus nucleorum* (Coleoptera). Já os ninhos de *Apoica pallens* (vespa-chuveiro ou vespa-chapel.), *Trypoxylon* sp. e espécies da tribo Eumenini são utilizadas no tratamento de caxumba. Ainda dentro de Hymenoptera há alguma similaridade de utilização entre formigas como *Atta* sp, que é utilizada no tratamento de cálculos renais, enquanto Ponerinae sp. é indicada para asma. A espécie *Dinoponera quadriceps* também é mencionada no tratamento de dores de ouvido, assim como a cera de *Partamona cupira*, o mel de *Trigona spinipes*, *Melipona subnitida* e *Tetragonisca angustula* (Apidae), além do macerado de *Periplaneta americana* (Blattodea), que também é aplicado para o alívio de dores auriculares.

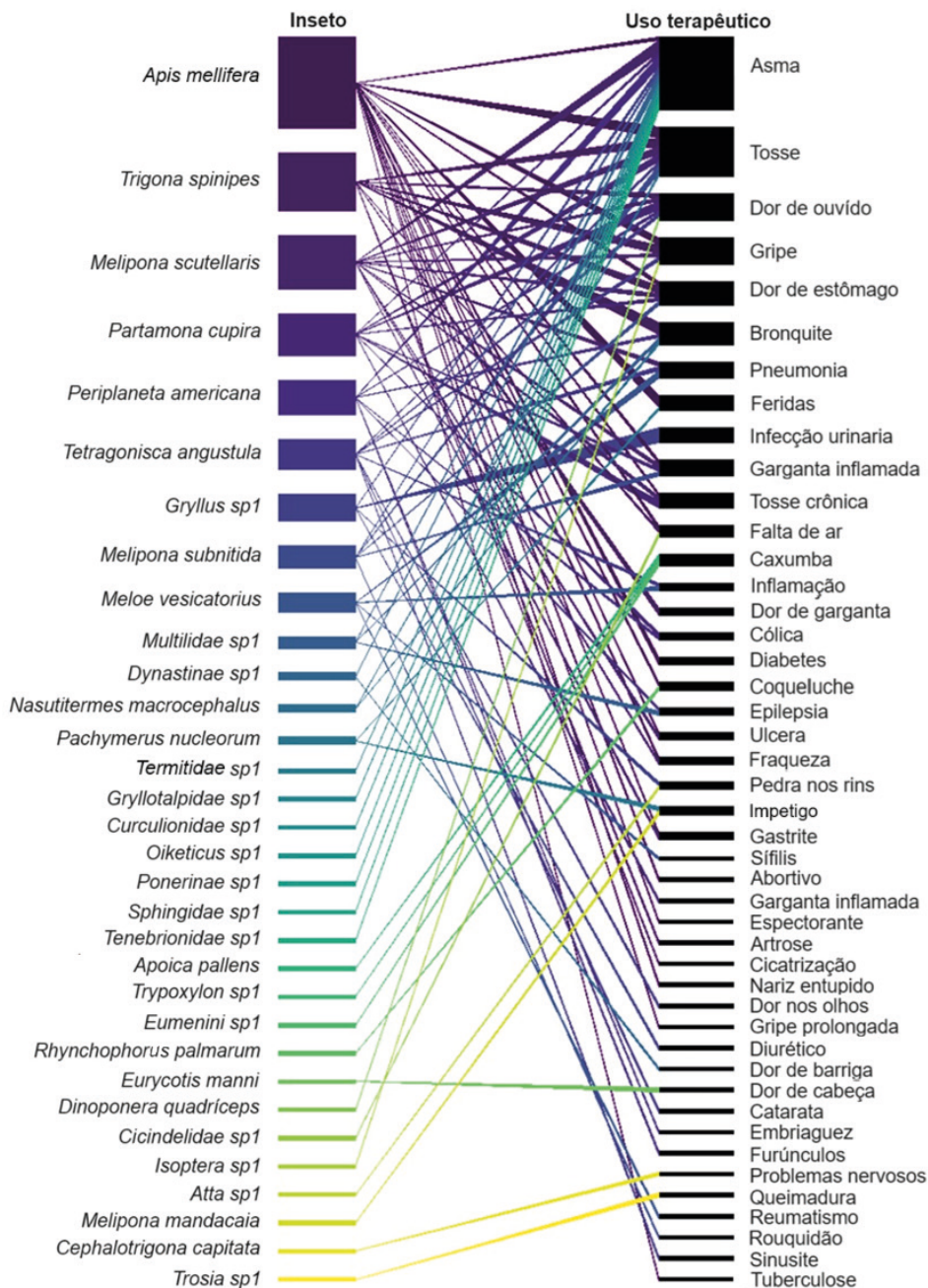


Figura 3: Rede de interação entre as espécies citadas e seus respectivos usos terapêuticos pelas fontes selecionadas para o levantamento bibliográfico.

CONCLUSÃO

A pesquisa sobre o uso terapêutico de insetos no Brasil revela uma rica interseção entre saberes tradicionais e potencial científico ainda inexplorado. Apesar de sua ampla utilização medicinal em comunidades tradicionais, a documentação científica ainda é insuficiente para compreender plenamente as propriedades bioativas dos insetos e seus subprodutos. Este estudo não apenas destaca a biodiversidade entomológica do Brasil, mas também reforça a necessidade de investimentos em bioprospecção e pesquisa sistemática. Ao integrar esses conhecimentos à inovação farmacêutica, é possível vislumbrar novos tratamentos terapêuticos que beneficiem a saúde humana, promovam a sustentabilidade e valorizem os saberes culturais. Assim, os insetos emergem como recursos estratégicos para avanços científicos e para a preservação da biodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AIELLO, D.; BARBERA, M.; BONGIORNO, D.; CAMMARATA, M.; CENSI, V.; INDELICATO, S.; MAZZOTTI, F.; NAPOLI, A.; PIAZZESE, D.; SAIANO, F. Edible Insects an Alternative Nutritional Source of Bioactive Compounds: A Review. **Molecules**, v. 28, n. 2, p. 699, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28020699>

BASHIR, N. H.; CHEN, H.; MUNIR, S.; WANG, W.; CHEN, H.; SIMA, Y. K.; AN, J. Unraveling the Role of Lac Insects in Providing Natural Industrial Products. **Insects**, v. 13, n. 12, p. 1117, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects13121117>

CAMPOS, J. F.; DOS SANTOS, H. F.; BONAMIGO, T.; DE CAMPOS DOMINGUES, N. L.; DE PICO-LI SOUZA, K.; DOS SANTOS, E. L. Stingless Bee Propolis: New Insights for Anticancer Drugs. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2021, n.1, p. 2169017, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2021/2169017>

COSTA-NETO, E. M. The use of insects in folk medicine in the state of Bahia, northeastern Brazil, with notes on insects reported elsewhere in Brazilian folk medicine. **Human Ecology**, v. 30, n. 2, p. 245-263, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1015696830997>

COSTA-NETO, E. M. A zooterapia popular no Estado da Bahia: registro de novas espécies animais utilizadas como recursos medicinais. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 1639-1650, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000700100>

DEVI, W. D.; BONYSANA, R.; KAPESA, K.; MUKHERJEE, P. K.; RAJASHEKAR, Y. Edible insects: As traditional medicine for human wellness. **Future Foods**, v. 7, p. 100219, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100219>

DEYRUP, S. T.; STAGNITTI, N. C.; PERPETUA, M. J.; WONG-DEYRUP, S. W. Drug Discovery Insights from Medicinal Beetles in Traditional Chinese Medicine. **Biomolecules & Therapeutics**, v. 29, n. 2, p. 105–126, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4062/biomolther.2020.229>

DINIZ, R. F. Etnosaberes e culturas tradicionais afrobrasileiras: farmacopeia, magia e reprodução material e simbólica de comunidades quilombolas do Vale do Jequitinhonha-MG. **GEOgraphia**, v. 21, n. 47, p. 13-28, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2019.v21i47.a28178>

GIAMPIERI, F.; QUILLES, J. L.; CIANCIOSI, D.; FORBES-HERNÁNDEZ, T. Y.; ORANTES-BERMEJO, F. J.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; BATTINO, M. Bee Products: An Emblematic Example of Underutilized Sources of Bioactive Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 23, p. 6833–6848, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05822>

HEIDARI, H., AZIZI, Y.; MALEKI-RAVASAN, N.; TAHGHIGHI, A.; KHALAJ, A.; POURHAMZEH, M. Nature's gifts to medicine: The metabolic effects of extracts from cocoons of *Larinus hedenborgi* (Coleoptera: Curculionidae) and their host plant *Echinops cephalotes* (Asteraceae) in diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 284, p. 114762, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114762>

JUANJIE, T.; YOUWEI, Z.; SHUYONG, W.; ZENGJI, D.; CHUANXIAN, Z. Investigation on the natural resources and utilization of the Chinese medicinal beetles - Meloidae. **Acta Entomol. Sinica**, v. 38, n. 3, p. 324–331, 1995. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/267976087.pdf>

LI, S.; WU, X.; FAN, G.; DU, K.; DENG, L. Exploring Cantharidin and its Analogues as Anticancer Agents: A Review. **Current Medicinal Chemistry**, v. 30, n. 18, p. 2006–2019, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2174/0929867330666221103151537>

LUO, L.; KAMAU, P. M.; LAI, R. Bioactive Peptides and Proteins from Wasp Venoms. **Biomolecules**, v. 12, n. 4, p. 527, 2022. <https://doi.org/10.3390/biom12040527>

LUO, Y.; FENG, M.; FAN, Z.; ZHU, X.; JIN, F.; LI, R.; WU, J.; YANG, X.; JIANG, Q.; BAI, H.; HUANG, Y.; LANG, J. Effect of Kangfuxin Solution on Chemo/Radiotherapy-Induced Mucositis in Nasopharyngeal Carcinoma Patients: A Multicenter, Prospective Randomized Phase III Clinical Study. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, n. 1, p. 8692343, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/8692343>

MUZZI, M.; MANCINI, E.; FRATINI, E.; CERVELLI, M.; GASPERI, T.; MARIOTTINI, P.; PERSICHINI, T.; BOLOGNA, M. A.; DI GIULIO, A. Male Accessory Glands of Blister Beetles and Cantharidin Release: A Comparative Ultrastructural Analysis. **Insects**, 13(2), 132, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects13020132>

NAZ, F.; WU, Y.; ZHANG, N.; YANG, Z.; YU, C. Anticancer Attributes of Cantharidin: Involved Molecular Mechanisms and Pathways. **Molecules**, v. 25, n. 14, p. 3279, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25143279>

NOMURA, H. Entomologia pitoresca II: os insetos nas crenças, superstições e medicina popular. Análise bibliográfica. **SITIENTIBUS série Ciências Biológicas**, v. 7, n. 1, p. 98-112, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/scb8136>

OUANGO, M.; ROMBA, R.; DRABO, S. F.; OUEDRAOGO, N.; GNANKINÉ, O. Indigenous knowledge system associated with the uses of insects for therapeutic or medicinal purposes in two main provinces of Burkina Faso, West Africa. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 18, n. 1, p. 50, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13002-022-00547-3>

RIVAS-NAVIA, D. M.; DUEÑAS-RIVADENEIRA, A. A.; DUEÑAS-RIVADENEIRA, J. P.; ARANSIOLA, S. A.; MADDELA, N. R.; PRASAD, R. Bioactive compounds of insects for food use: Potentialities and risks. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100807, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100807>

RODRIGUEZ-CANALES, M.; MEDINA-ROMERO, Y. M.; RODRIGUEZ-MONROY, M. A.; NAVA-SOLIS, U.; BOLAÑOS-CRUZ, S. I.; MENDOZA-ROMERO, M. J.; CAMPOS, J. E.; HERNANDEZ-HERNANDEZ, A. B.; CHIRINO, Y. I.; CRUZ-SANCHEZ T.; GARCIA-TOVAR, C. G.; CANALES-MARTINEZ, M. M. Activity of propolis from Mexico on the proliferation and virulence factors of *Candida albicans*. **BMC Microbiology**, v. 23, n. 1, p. 325, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12866-023-03064-9>

SAHU, P. K.; TOMAR, R. S. The natural anticancer agent cantharidin alters GPI-anchored protein sorting by targeting Cdc1-mediated remodeling in endoplasmic reticulum. **Journal of Biological Chemistry**, v. 294, n. 11, p. 3837–3852, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1074/jbc.RA118.003890>

SÁNCHEZ-ESTRADA, M. DE LA L.; AGUIRRE-BECERRA, H.; FERREGRINO-PÉREZ, A. A. Bioactive compounds and biological activity in edible insects: A review. **Heliyon**, v. 10, n.2, p. e24045, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24045>

SIDDIQUI, S. A.; LI, C.; AIDOO, O. F.; FERNANDO, I.; HADDAD, M. A.; PEREIRA, J. A. M.; BLINOV, A.; GOLIK, A.; CÂMARA, J. S. Unravelling the potential of insects for medicinal purposes – A comprehensive review. **Heliyon**, v. 9, n. 5, p. e15938, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15938>

STORK, N. E. How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? **Annual Review of Entomology**, v. 63, n.1, p. 31–45, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>

TASHKANDI, H. Honey in wound healing: An updated review. **Open Life Sciences**, v. 16, n. 1, p. 1091–1100, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/biol-2021-0084>

VILHARVA, K. N.; LEITE, D. F.; SANTOS, H. F. DOS; ANTUNES, K. Á.; ROCHA, P. DOS S. DA; CAMPOS, J. F.; ALMEIDA, C. V.; MACEDO, M. L. R.; SILVA, D. B.; RAMALHO DE OLIVEIRA, C. F.; DOS SANTOS, E. L.; DE PICOLI SOUZA, K. *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae): Guarani-Kaiowá indigenous knowledge and pharmacological activities. **Plos One**, v. 16 n. 4, p. e0249919, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249919>

YAN, J.; DENG, X. L.; MA, S. Q.; LI, Y. H.; GAO, Y. M.; SHI, G. T.; WANG, H. S. Cantharidin suppresses hepatocellular carcinoma development by regulating EZH2/H3K27me3-dependent cell cycle progression and antitumour immune response. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 23, n.1, p. 160, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03975-0>

ZHANG, E.; JI, X.; OUYANG, F.; LEI, Y.; DENG, S.; RONG, H.; DENG, X.; SHEN, H. A minireview of the medicinal and edible insects from the traditional Chinese medicine (TCM). **Frontiers in Pharmacology**, v. 14, p. 1125600, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1125600>

ZOU, J.-B.; ZHANG, X.-F.; SHI, Y.-J.; TAI, J.; WANG, Y.; LIANG, Y.-L.; WANG, F.; CHENG, J.-X.; WANG, J.; GUO, D.-Y. Therapeutic Efficacy of Kangfuxin Liquid Combined with PPIs in Gastric Ulcer. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2019, n. 1, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/1324969>

ZULHENDRI, F.; LESMANA, R.; TANDEAN, S.; CHRISTOPER, A.; CHANDRASEKARAN, K.; IRSYAM, I.; SUWANTIKA, A. A.; ABDULAH, R.; WATHONI, N. Recent Update on the Anti-Inflammatory Activities of Propolis. **Molecules**, v. 27, n. 23, p. 8473, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27238473>

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E EXPERIMENTAÇÃO: VIVÊNCIAS INCLUSIVAS DO ENSINO FUNDAMENTAL I EM LABORATÓRIOS DE PESQUISA DO CAP-UERJ

Data de submissão: 17/12/2024

Data de aceite: 10/01/2025

Aíres Vanessa Cavalcante dos Santos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Laboratório de Tecnologias Educacionais
Disruptivas
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/3217839057922275>

Crystal Candido Breves

Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto de Aplicação Fernando
Rodrigues da Silveira, Departamento de
Ciências da Natureza
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/8571086593628264>

Dandara Conceição de Paula

Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto de Aplicação Fernando
Rodrigues da Silveira, Departamento de
Ensino Fundamental
Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/0945569697857303>

Waldiney Cavalcante de Mello

Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto de Aplicação Fernando
Rodrigues da Silveira, Departamento de
Ciências da Natureza
Rio de Janeiro - RJ
<https://bityli.cc/bqt>

RESUMO: Em um contexto de crescente cenário de desinformação, sensacionalismo e *fake news*, urge a necessidade de aprendizagens significativas desde os anos iniciais do Ensino Fundamental I, no intuito de garantir uma formação crítica e dialogada. Nesse sentido, a experimentação em laboratórios de pesquisa desde esse nível de escolaridade é fundamental, uma vez que ela quebra a rotina, leva os estudantes para fora de sala de aula, permite o uso de materiais diferentes e integra prática aos estudos teóricos. Isso aproveita e aguça a curiosidade inerente a essa faixa etária, sendo fundamental para uma formação integral. Este trabalho é um relato de experiência descritivo que visa compartilhar as vivências de turmas do Ensino Fundamental I em laboratórios de pesquisa. O objetivo é apresentar possibilidades inclusivas dessa integração para discentes e docentes através da sequência de aulas implementadas. O trabalho foi realizado durante o segundo semestre de 2023, em colaboração com alunos de licenciatura em Ciências Biológicas, sob orientação do professor responsável, e com o apoio das professoras regentes e professoras mediadoras das turmas do 2º ano do Ensino Fundamental I. O presente estudo foi realizado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (Cap-

UERJ). A sequência contou com 5 aulas de duração variável, entre 25 e 50 minutos, feitas no turno da manhã. A primeira abordou um tema diferente do que estava sendo visto em sala de aula, sobre insetos para possibilitar o uso do microscópio estereoscópico. Já as outras 4 focaram em um encadeamento do tema das aulas teóricas - sistema digestório, a fim de torná-lo mais atraente. Como forma de avaliação, as professoras regentes fizeram atividades em sala sobre o que os alunos haviam visto no laboratório. A cada aula os alunos chegavam mais entusiasmados e com muitas perguntas pertinentes e surpreendentes para idade, o que revela a importância dessa aproximação dos alunos com os laboratórios de pesquisa desde o momento inicial de sua formação. As atividades se mostraram totalmente inclusivas, e permitiram a vivência de laboratório para alunos neurodivergentes - especialmente com Transtorno do Espectro Autista e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade - e neurotípicos de forma plena, colaborativa e motivadora.

PALAVRAS-CHAVE: Formação crítica; Anos iniciais; Laboratórios; Ensino de Ciências.

MEANINGFUL LEARNING AND EXPERIMENTATION: INCLUSIVE EXPERIENCES OF ELEMENTARY EDUCATION I IN RESEARCH LABORATORIES AT CAP-UERJ

ABSTRACT: In a context marked by increasing disinformation, sensationalism, and fake news, the need for meaningful learning from the early years of Elementary School (grades 1–5) is urgent to ensure a critical and dialogical education. In this regard, experimentation in research laboratories at this stage of schooling is essential, as it disrupts routine, brings students outside the traditional classroom environment, enables the use of diverse materials, and integrates practical activities with theoretical learning. This approach harnesses and stimulates the innate curiosity of this age group, which is fundamental for holistic education. This study presents a descriptive report of an experience aimed at sharing activities conducted with early elementary school classes in research laboratories. The objective is to demonstrate inclusive opportunities for both students and teachers through the implemented lesson sequence. The study was conducted during the second semester of 2023 in collaboration with undergraduate students of Biological Sciences, under the supervision of the lead professor, and with the support of head teachers and mediating teachers of 2nd-grade Elementary School I classes. The project took place at the Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp-UERJ). The lesson sequence comprised five classes of varying durations, ranging between 25 and 50 minutes, conducted during the morning shift. The first class addressed a topic unrelated to the regular classroom content, focusing on insects to facilitate the use of a stereoscopic microscope. The subsequent four classes were designed to build on the classroom lessons about the digestive system, aiming to make the subject matter more engaging. For assessment, the head teachers conducted classroom activities based on the students' laboratory experiences. With each class, students became increasingly enthusiastic, presenting remarkably relevant and insightful questions for their age group. This enthusiasm highlights the significance of introducing students to research laboratories at the early stages of their educational journey. The activities proved to be fully inclusive, providing meaningful laboratory experiences for both neurodivergent students - particularly those with Autism Spectrum Disorder and Attention Deficit Hyperactivity Disorder - and neurotypical students in a collaborative, engaging, and motivating manner.

KEYWORDS: Critical education; Early years; Laboratories; Science education.

INTRODUÇÃO

O fazer científico dentro da sala de aula, especialmente em turmas dos anos iniciais do Ensino Fundamental, envolve algumas destrezas e habilidades experimentais que somente as aulas de ciências podem abordar. O desenvolvimento da dimensão afetiva e do pensamento crítico também são atribuições que o ensino de ciências proporciona. O ensino tradicional de ciências, entretanto, desde a escola primária até os cursos de graduação, tem se mostrado pouco eficaz do ponto de vista dos estudantes e professores, e das expectativas da sociedade (Borges, 2002).

Conforme orientado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (1997), o ensino de ciências deve se valer de uma ampla gama de linguagens, recursos e formas de expressão. A realidade, entretanto, se faz profundamente diferente do ideal pautado pelos PCN. Além das críticas que o sistema de ensino sofre há décadas, estamos de frente com um impasse especialmente complexo: a forma como a atual política educacional nacional vem se apresentando não contribui para a satisfação do docente, não proporcionando nem mesmo as condições básicas de trabalho em muitas escolas (Miranda; Leda; Peixoto, 2013).

“Precisamos cada vez mais melhorar não apenas o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica, mas também buscar o uso das tecnologias de informação e comunicação nas aulas, com novas propostas educacionais para diferentes espaços, fazendo uso de diferentes recursos didático-pedagógicos, facilitando o processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, bem como do papel de mediador do professor.” (VASCONCELOS et. al, 2017, p. 164).

No contexto do ensino brasileiro, as aulas expositivas ainda predominam como uma metodologia amplamente utilizada, e por método de exposição entende-se uma apresentação oral sem discussão ou participação apreciável dos alunos (Thorndike; Gates, 1936). Paulo Freire (2018, p. 139) comenta que “no Brasil, em todos os níveis de ensino há uma quase enfermidade da narração. A tônica da Educação é preponderantemente esta – narrar, sempre narrar”. Esse fato pode ser considerado um problema relevante na educação do país, visto que autores como Andreato (2019) e Heuvelen (1991) observam que, mesmo que a transmissão no método expositivo seja relativamente eficiente, não há comunicação efetiva, pois a recepção é quase inexistente. Reforçando, assim, que ensinar usando uma só técnica produz monotonia nas aulas e alto índice de desinteresse dos discentes.

Atividades práticas não necessariamente devem ser realizadas dentro de laboratórios equipados e tecnológicos. Simples experimentos baseados em investigação e/ou observação podem ser consideradas práticas riquíssimas em saber científico, desde que fundamentados em um roteiro bem produzido. Entretanto, partindo do princípio em que a escola dispõe de espaços dotados dos materiais necessários para a realização dessas atividades, é importante ocupá-los, a fim de, não somente prover uma aula mais elaborada e interessante para os alunos, mas também para a logística e segurança de toda a classe frente ao uso de materiais adversos. De acordo com Galiazzi et. al (2001), é consenso que a experimentação é uma atividade fundamental no ensino de Ciências. Apesar disso, desde sua implantação nas escolas, há mais de cem anos, várias críticas têm sido feitas sobre os resultados alcançados.

Isso se dá, majoritariamente, por um mau planejamento dessas aulas práticas. Os alunos precisam correlacionar as práticas científicas à sua estrutura conceitual, se não, irão lembrar desses momentos apenas como experiências desconectadas (Driver, 1983). Bartzik e Zander (2016) acrescentam, ainda, que para que as atividades práticas sejam realmente úteis no ensino, é necessário que o professor as situe adequadamente no processo de aprendizagem. Lev Vygotsky (2003) afirma que a imaginação, como base de toda atividade criadora, se manifesta por igual em todos os aspectos da vida cultural, possibilitando a criação, seja ela artística, científica ou técnica. Esse pensamento embasa a importância da curiosidade e do imaginário infantil no letramento científico. Estimulando a criatividade e sede pelo desconhecido, permitimos que os alunos construam uma compreensão mais profunda e pessoal dos conceitos científicos, o que enriquece tanto seu desenvolvimento cognitivo quanto sua formação como indivíduos críticos.

A Aprendizagem Significativa é uma teoria psicoeducacional proposta por David Ausubel em 1963, onde o professor é um mediador e a cooperação entre os alunos para resolução de problemas de forma democrática é valorizada (Silveira, 2014). Assim, o aluno é visto como um sujeito ativo em busca da autonomia intelectual para usar diferentes recursos disponíveis em situações adversas, tanto cotidianas, quanto na vida escolar. O protagonismo infanto-juvenil, além de promover uma certa independência, visto que ampara o desenvolvimento do pensamento crítico, favorece a convivência entre pares na esfera escolar (Tognetta; Daud, 2017), facilitando a mediação por meio do docente e tornando a sala de aula um espaço acolhedor e inovador.

O presente trabalho objetiva contribuir de maneira significativa para o desenvolvimento educacional nos anos iniciais do ensino fundamental. Pretende-se endossar a importância das vivências experimentais, demonstrando o papel do ambiente laboratorial nesse segmento, enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem. Visa-se a promoção da aprendizagem significativa, fazendo-se valer dos traços socioemocionais predominantes na faixa etária alvo, como um imaginário fértil, uma tendência questionadora e uma desenvoltura característica. Dessa forma, despertando a curiosidade, desenvolvendo habilidades cognitivas e enfatizando a integração entre teoria e prática. Outro objetivo importante é a ocupação de espaços que frequentemente permanecem inutilizados nas escolas, especialmente pelo Ensino Fundamental I, por questões de logística e burocracia. Esses objetivos, ao serem implementados, não apenas reforçam os conteúdos conceituais, atitudinais e procedimentais, mas também contribuem para a formação de cidadãos críticos e engajados com o conhecimento científico desde a infância.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no segundo semestre de 2023, como parte de um projeto de pesquisa, em colaboração com uma equipe de estagiárias de Licenciatura em Ciências Biológicas da UERJ e da UNIRIO, do Laboratório de Tecnologias Educacionais Disruptivas (LATED), e professores regentes e mediadores que lecionam em três turmas do 2º ano do Ensino Fundamental I do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira (CAp UERJ). As turmas agregam 20 alunos cada, totalizando 60 alunos atendidos entre 6 e 8 anos de idade. Considerando-se que este colégio possui laboratórios de pesquisa estruturados, porém com uso curricular de aulas práticas apenas a partir do Ensino Fundamental II, o eixo dessa experiência foi iniciar o contato dos alunos com o ambiente e práticas laboratoriais de forma gradativa e antecipada, relacionando os conteúdos curriculares vistos em sala de aula com as práticas de laboratório e adotando uma dinâmica mais flexível de acordo com o envolvimento e interação dos alunos em cada aula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vivência laboratorial foi estruturada através de uma sequência didática de cinco aulas de curta duração, ministradas em cada turma separadamente. Em toda aula havia ao menos três professores regentes responsáveis pelos estudantes (incluindo mediadores quando necessário). A organização espacial permaneceu a mesma, com todos os alunos ao redor das bancadas para facilitar a visualização e interação com a equipe, e o tempo de organização deles demorava em torno de cinco minutos.

Insetos

A primeira aula, com duração de 25 minutos, teve como objetivo introduzir o uso do microscópio estereoscópico (lupa), um equipamento comumente utilizado em laboratório. Tanto o tema quanto o equipamento foram escolhidos estrategicamente para despertar a curiosidade dos alunos nesse primeiro contato com o laboratório. Foram utilizados uma lupa e quatro exemplares da coleção entomológica do Laboratório de Tecnologias Educacionais Disruptivas do CAp-UERJ, sendo eles: borboleta (Lepidoptera: Nymphalidae), abelha (Hymenoptera: Apidae), libélula (Odonata: Libellulidae) e besouro (Coleoptera: Scarabaeidae). Os exemplares foram fixados em uma caixa entomológica para evitar o desgaste e permitir sua visualização. Alguns exemplares e suas partes foram escolhidos para serem observados no microscópio e permitida sua manipulação (figura 1A e 1B). Durante essa aula, os alunos puderam observar os diferentes tipos de insetos, vendo a diferença da composição corporal na lupa, o que gerou grande interesse, comentários e perguntas. A aula começou com a exposição dos exemplares e uma pergunta-problema simples: se eles sabiam identificar os insetos que estavam vendo e o que sabiam sobre eles, valendo qualquer curiosidade, desde anatomia até hábitos alimentares. Após isso, os insetos foram passados em frente a cada aluno, permitindo que eles tocassem em cada um deles para sentir a diferença morfológica que seria observada em sequência na lupa.

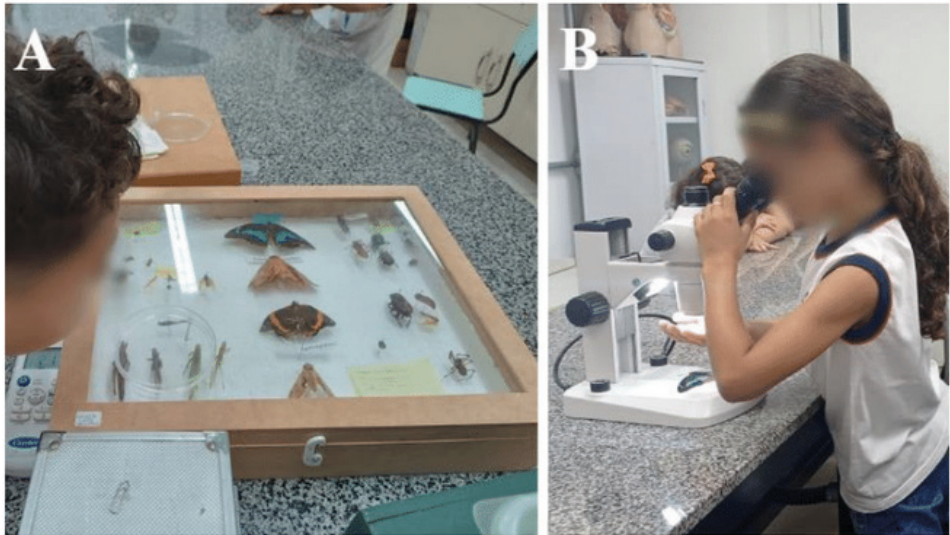


Figura 1: Alunos do 2º ano do Ensino Fundamental I do Cap-UERJ em aula de laboratório, que utilizou os espécimes de insetos da coleção entomológica (A) do LATED/Cap-UERJ para as observações nos microscópios estereoscópicos (B). Fonte: os autores.

Sistema digestório: composição e caminho do alimento

A partir dessa aula, o tema do laboratório foi alinhado com o conteúdo visto em sala de aula. Essa aula, com duração de cerca de 30 minutos, teve como objetivo introduzir o sistema digestório de forma mais palpável, utilizando um molde do corpo humano.

Foi enfatizado que o sistema digestório é composto por um único tubo com partes especiais que atuam de forma diferente no processo de digestão, e que possui órgãos que não fazem parte desse tubo, conhecidos como órgãos anexos, mas que também ajudam no processo digestivo. A aula foi conduzida em formato dialético, promovendo um diálogo contínuo entre os alunos e a equipe presente (estagiária e professores). O foco da aula foi a interação, aproveitando os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo das aulas tradicionais. Foi observada uma certa euforia e animação geradas pelo contato com um material novo pela primeira vez.

Pão em Ação

A terceira aula, com duração de 40 minutos, teve como objetivo a produção de um pão para elucidar a transformação do alimento durante o processo de fermentação. Para a fabricação do pão, utilizamos: 0,5 kg de farinha de trigo, 200 mL de leite, 50 mL de água, 50 mL de óleo, 100 g de açúcar, 1/2 colher (sopa) de sal e 15 g de fermento biológico. Durante a aula, alternamos entre atividade prática e discussões sobre curiosidades relacionadas ao tema.

Temas como alimentação, nutrientes, fermentação e microrganismos foram abordados enquanto todos ajudavam na fabricação do pão. Os alunos participaram ativamente, medindo os ingredientes, misturando, sovando a massa e observando o processo de fermentação. No laboratório, foi utilizado o modelo de sistema digestório (figura 2A) enquanto os alunos produziam o pão, que foi posteriormente exposto em uma roda de conversa em sala de aula com todos, onde puderam experimentar o alimento feito por eles mesmos (figura 2B).



Figura 2: Alunos interagindo com o modelo de réplica do sistema digestório (A), e em atividade de discussão em sala de aula sobre os resultados após produzirem o pão (B). Fonte: os autores.

Imitando a digestão

A quarta aula, com duração de 30 minutos, teve como objetivo demonstrar a transformação do alimento durante o processo de digestão, através de três experimentos descritos a seguir. Em cada experimento, após as respostas dos alunos às perguntas feitas, dialogamos para reforçar e aprofundar os conceitos abordados.

a) A importância da mastigação Esse experimento elucidou a importância da mastigação para uma melhor digestão.

Nele utilizamos: água, gral e pistilo (2), copos plásticos transparentes (3) e pastilhas de vitamina C (6). Apesar de termos colocado a quantidade exata de material utilizado, deixamos disponível uma quantidade extra para qualquer imprevisto. Colocamos duas pastilhas de vitamina C em cada gral: em um, elas foram apenas quebradas, e no outro, maceradas pelos alunos. Os três copos com a mesma quantidade de água foram colocados no meio da bancada, e três alunos colocaram as pastilhas dentro dos respectivos copos no mesmo momento.

Observamos os três copos com água: um com as duas pastilhas inteiras, outro com as duas pastilhas quebradas e o terceiro com as duas pastilhas maceradas. Após a total dissolução das pastilhas, questionamos aos estudantes:

i. O que vocês conseguiram observar?

Eles notaram principalmente a velocidade de dissolução das pastilhas, especialmente nos extremos, a mais rápida e a mais lenta. As respostas foram similares à “a inteira foi a mais lenta, e a em pó a mais rápida”.

ii. Qual pastilha dissolveu primeiro?

A resposta foi unânime: a pastilha em pó (macerada).

iii. Vocês conseguem explicar por que isso ocorreu?

O tamanho foi o foco dessa resposta. Eles justificaram que o pó, por ser menor, se dissolve mais rápido, enquanto a pastilha inteira, por ser maior, demora mais.

b) Estômago e a digestão de proteínas

Esse experimento simulou a ação do suco gástrico na digestão das proteínas. Nele utilizamos: um béquer, uma caixa de leite e uma garrafa de vinagre. Com o auxílio da aluna de licenciatura, os estudantes colocaram um pouco de leite no béquer, observaram seu aspecto, em seguida, adicionaram vinagre e aguardaram atentamente observando o que acontecia. Antes da adição do vinagre, perguntamos aos estudantes em que estado se encontrava o leite (líquido, sólido ou gasoso). Quando o aspecto do leite começou a mudar, questionamos:

i. O que está acontecendo com o leite? Ele continua no mesmo estado?

Eles observavam atentamente e falavam que o aspecto do leite estava mudando, ele estava ficando “em pedaços”.

ii. Por que o aspecto do leite mudou?

Por conta da adição do vinagre. Eles traçaram uma relação de causalidade direta.

iii. O que o vinagre está representando? Que substância presente no nosso estômago tem essa mesma função?

Os que responderam foram unânimes na resposta: o ácido.

c) Fígado e vesícula biliar como ajudantes da digestão intestinal

Esse experimento simulou a ação da bile na digestão dos lipídeos. Nele utilizamos: água, um béquer, uma colher, um detergente e um óleo. Enchemos o béquer com água e, em seguida, adicionamos um pouco de óleo. Buscamos colocar aproximadamente a mesma quantidade de água e óleo para facilitar a visualização. Perguntamos aos estudantes se as duas substâncias estavam se misturando e incentivamos eles a mexerem com a colher para tentar homogeneizar e ver o que acontecia. Após ver que a água e o óleo permaneciam separados, adicionamos detergente e observamos. Quando o aspecto da mistura mudou, questionamos:

i. O que vocês acham que aconteceu? O que o detergente fez?

As respostas foram similares à “o detergente fez com que a água e o óleo se misturassem”.

ii. Que tipo de alimento está sendo representado pelo óleo?

A resposta foi unânime: gordura.

A prática supracitada contou com três experimentos simples, foi elaborada com materiais facilmente substituíveis, e ainda assim gerou grande envolvimento por parte dos alunos (figura 3A, B e C). Além disso, a mesma prática, com as adaptações necessárias, foi aplicada em anos completamente distintos (figura 3D), mostrando que com flexibilidade e empenho o ensino se transforma.



Figura 3: Alunos do 2º ano do Ensino Fundamental I do CAP-UERJ em aula de laboratório, na bancada de experimentos (A), com auxílio de professores e estagiários para experimento sobre digestão. Nos casos de alunos neurodivergentes (e.g. TEA e TDAH), com acompanhamento e adaptação de professora mediadora especializada (C) do Atendimento à Educação Especial, com atividades sensoriais. Os experimentos foram testados e validados com sua replicação com a participação de alunos do 1º ano do Ensino Médio e professores regentes de biologia (D). Fonte: os autores.

Quais alimentos têm amido?

A quinta e última aula, com duração de 30 minutos, teve como objetivo realizar um experimento de identificação dos alimentos que continham amido. Utilizamos seis alimentos, sendo eles: amido de milho, arroz cru, margarina, pão, queijo mussarela e sal, além de seis placas de Petri e tintura de iodo. Optamos por deixar a bancada já preparada antes dos alunos entrarem no laboratório, com os alimentos distribuídos nas placas e a tintura de iodo ao lado.

Iniciamos conversando um pouco sobre os carboidratos, grupo ao qual pertence a substância de interesse, e depois falamos mais especificamente sobre o amido: o que é essa substância, onde costuma ser encontrada e que ela é a reserva de energia das plantas. E, finalmente, explicamos como seria feito o experimento. A tintura de iodo, quando em contato com amido, fica com uma coloração azul escura ou preta; já quando não há amido, a coloração fica avermelhada. Antes de pingar algumas gotas da tintura em cada alimento, perguntávamos aos alunos se eles achavam que aquele alimento tinha ou não amido e o porquê. Além disso, frisamos que o amido de milho que levamos serviria como um controle de qualidade para saber se nosso experimento daria certo ou não, pois sabíamos com certeza qual coloração esperar nele.

Desde o início do projeto, foi possível perceber o impacto positivo do ambiente laboratorial nas vivências experimentais dos alunos. O laboratório, utilizado por outras turmas e para diversos objetivos, continha não só os materiais que utilizamos em aula, mas também outros recursos de diferentes projetos e disciplinas. Esses elementos adicionais transformaram o laboratório em uma poderosa ferramenta pedagógica, pois de acordo com a Teoria da Assimilação da Aprendizagem e da Retenção Significativas proposta por Ausubel (2003), o material tem papel determinante na aprendizagem significativa. Segundo o autor, é importante que a relação entre o material e a estrutura cognitiva do aprendiz seja não arbitrária, possibilitando a “ancoragem” do conhecimento adquirido com o preexistente.

Um exemplo dessa ancoragem como aliada da aprendizagem significativa foi observado na primeira aula sobre insetos. Mesmo tendo inúmeros recursos diferentes, como uma coleção entomológica e uma lupa, que é um equipamento totalmente novo para os alunos-alvo, muitos deles perguntaram sobre o molde do corpo humano, questionando até se poderíamos usá-lo em outro momento. Esse interesse foi crucial para que optássemos por usar o molde na aula seguinte e foi importante, inclusive, para decidirmos os temas subsequentes. O molde chamou atenção principalmente por estar relacionado a um assunto presente para eles naquele momento: o sistema digestório humano, que estava sendo estudado no período em questão.

Na segunda aula, em que usamos o molde do corpo humano, os alunos, ao se depararem com vários órgãos e estruturas diferentes, foram incitados a olhar atentamente para assimilar as diferentes estruturas ali presentes e buscar conexões com suas bagagens prévias, formando uma rede de conhecimento. A partir dessa análise crítica, eles formularam diversas perguntas.

Enquanto um perguntava “Tia, qual desses tubos é o que passa o alimento?”, o outro já respondia “É aquele ali”, apontando para o tubo correspondente ao esôfago, e ainda havia aqueles que já sabiam os nomes. Um dos alunos questionou “É esôfago o nome desse tubo?”.

E uma pergunta levava a outra: “mas então que tubo é aquele vermelho? É uma veia?”, apontando para a artéria aorta, e “E aquele outro?”, apontando para a traqueia, “Quando a gente engasga é quando o alimento vai para o tubo errado?”.

Todos os exemplos citados evidenciam, na prática, o desenvolvimento do letramento científico, à medida que os alunos foram incentivados a ressignificar e construir novos saberes a partir de observações, reflexões e discussões. Ao questionarem, por exemplo, sobre o engasgo e se o alimento poderia “ir para o tubo errado”, os estudantes demonstram a utilização de conhecimentos prévios para identificar um problema, estabelecendo relações com novas estruturas e integrando-as àquelas já conhecidas (Martins; Nicolli, 2019). A interdisciplinaridade emerge de forma natural e espontânea, porque o aluno tem espaço para fazer novas conexões a todo tempo. Uma aula que a princípio seria apenas sobre o sistema digestório acaba sendo também sobre os sistemas circulatório e respiratório. Como apontam as autoras, essa abordagem potencializa a aprendizagem significativa, pois possibilita que os discentes não apenas memorizem informações, mas relacionem os novos conhecimentos

aos previamente existentes e à sua realidade, desenvolvendo assim habilidades cognitivas e críticas. Atrrelado a isso, está uma sequência didática pensada para estimulá-los progressivamente, em um crescente de aprendizados de conteúdos: conceituais, com novos subtemas e conexões a temas já estudados; atitudinais, como a cooperação observada para a resolução de dúvidas; e procedimentais, através das experimentações realizadas.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um planejamento de aula eficaz é essencial para a formação integral dos estudantes, pois vai além do simples repasse de conteúdos científicos. Ele deve buscar, também, o desenvolvimento de habilidades socioemocionais que extrapolem o foco exclusivamente cognitivo, criando um ambiente de aprendizagem que valorize tanto os saberes técnicos quanto as interações interpessoais, a empatia e a cooperação. Ao fomentar esse equilíbrio entre competências cognitivas e socioemocionais, o processo educativo se torna mais significativo e alinhado às demandas contemporâneas, preparando os alunos para lidar com os desafios do mundo atual de maneira crítica e consciente.

As atividades se mostraram totalmente inclusivas, e permitiram a vivência de laboratório para alunos neurodivergentes - especialmente com Transtorno do Espectro Autista e Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade - e neurotípicos de forma plena, colaborativa e motivadora. O presente estudo sugere que a vivência em laboratórios de ciências desde os primeiros anos do Ensino Fundamental I é possível e essencial para a formação científica dos alunos, permitindo práticas inclusivas e colaborativas. A inserção de práticas de laboratório simplificadas permite que os alunos tenham contato e se encantem com a ciência, possibilitando os primeiros passos para sua alfabetização científica desde cedo. Do ponto de vista da inclusão de alunos neurodivergentes (e.g. TEA e TDAH, podendo se estender a dislexia, Altas Habilidades e Superdotação) práticas de laboratório podem permitir que professores tenham mais observações para identificar dificuldades e talentos para as ciências desde os primeiros anos escolares. É possível, ainda, sugerir que a prática científica de laboratório desde essa fase pode se apresentar terapêutica para alunos neurodiversos, uma vez que pode trabalhar aspectos que trazem benefícios às interrelações sociais, ao hiperfoco, ou até colaborar na identificação de padrões de comportamentos. A vivência no laboratório traz curiosidade, interesse e se aplica bem à fase infantil onde as crianças são despertadas por diversos interesses e podem apresentar diferentes habilidades.

Além disso, a popularização do uso de laboratórios no Ensino Fundamental I se mostra essencial para enriquecer a prática pedagógica e tornar as aulas mais dinâmicas e envolventes. A facilidade de acesso a esses espaços ainda é limitada nessa etapa de ensino, o que reduz a possibilidade de experimentação e de aprendizado ativo. É necessário, portanto, investir em estratégias que tornem os laboratórios mais integrados ao cotidiano escolar, possibilitando que os alunos explorem conceitos de maneira investigativa desde cedo. Assim, será possível transformar a visão do ensino de ciências em algo acessível, envolvente e capaz de despertar o interesse e a curiosidade pela ciência e pelo conhecimento de maneira mais ampla.

AGRADECIMENTOS

Aos professores regentes e mediadores que atuaram em parceria no presente trabalho, ao Departamento de Atendimento à Educação Especial (DAEE) e ao Departamento de Ensino Fundamental (DEF) do CAP-UERJ.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

ANDREATA, M. A. **Aula expositiva e Paulo Freire**. Ensino Em Re-Vista, v. 26, n. 3: 700-724, 2019.

BARTZIK, F; ZANDER, L. D. **A importância das aulas práticas de ciências no Ensino Fundamental**. Arquivo Brasileiro de Educação, v. 4, n. 8: 31-38, 2016.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 3: 291-313, 2002.

CONTRIBUIÇÕES sobre desenvolvimento e aprendizagem: Piaget e a Abordagem Genética; Vygotsky e a Histórico-Cultural. In: SILVEIRA, N. L. D. Psicologia Educacional: Desenvolvimento e Aprendizagem. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

DRIVER, R. **The pupil as scientist?**. Taylor and Francis, 124 p., 1983.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido: (O Manuscrito)**. São Paulo: Instituto Paulo Freire, 475 p., 2018.

GALIAZZI, M. C.; ROCHA, J. M. B.; SCHMITZ, L. C.; SOUZA, M. L.; GIESTA, S.; GONÇALVES, F. P. **Objetivos das atividades experimentais no Ensino Médio: A pesquisa coletiva como modo de formação de professores de Ciências**. Ciência & Educação, São Paulo, 7 (2): 249-263, 2001.

MARTINS, A. E. P. S.; NICOLLI, A. A. **Letramento Científico e Ensino de Ciências: práticas pedagógicas pautadas na consideração dos conhecimentos prévios e na aprendizagem significativa para promover a formação cidadã**. Cadernos de Aplicação, Porto Alegre, v. 32, n. 1, 2019.

MIRANDA, V. B. S.; LEDA, L. R.; PEIXOTO, G. F. **A importância da atividade prática no ensino de biologia**. Revista de educação, ciências e matemática, v. 3, n. 2, 2013.

PARÂMETROS Curriculares Nacionais: Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1997.

THORNDIKE, E. L.; GATES, A. **Princípios elementares de educação**. Tradução de Haydée Bueno de Camargo. São Paulo: Saraiva, 396 p., 1936.

TOGNETTA, L. R. P.; DAUD, R. P. **Quem educa em um ambiente educacional? O legado piagetiano para pensar a convivência ética na escola e o papel da autoridade e do protagonismo infanto-juvenil**. Schème: Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas, v. 9: 264-289, 2017.

VAN HEUVELEN, A. **Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies**. American Journal of physics, v. 59, n. 10: 891-897, 1991.

ESTIMACIÓN DEL GASTO EN UN MICRORESERVORIO PERMANENTE DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO

Data de submissão: 13/12/2024

Data de aceite: 10/01/2025

José Luis Gómez-Márquez

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,
UNAM, CD. México

S. García-Limón

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,
UNAM, CD. México

J.L. Guzmán-Santiago

Laboratorio de Limnología, FES Zaragoza,
UNAM, CD. México

R.Trejo-Albarrán

Laboratorio de Hidrobiología, Facultad de
Ciencias Biológicas (UAEM), Cuernavaca,
Morelos, México

RESUMEN: La necesidad de agua para las actividades de irrigación en los alrededores del sistema acuático, es cada vez mayor, debido a que las condiciones de pluviosidad han cambiado actualmente por el efecto del calentamiento global, lo que ha ocasionado mayor demanda del recurso hídrico y por el tipo de cultivos que se realizan en la zona de estudio. Esta evaluación fue solicitada como un apoyo a la comunidad del poblado de Xalostoc, municipio de Ayala, Morelos, para conocer la cantidad de agua que llega al microreservorio. El objetivo fue estimar el

gasto o caudal de agua del microreservorio o bordo la Palapa en dos épocas del año. Los muestreos se realizaron durante el mes de septiembre (2019) y marzo (2020), durante la temporada de lluvias y de secas respectivamente. Los datos del caudal de entrada se obtuvieron utilizando el método del Flotador Sencillo descrito por Coche y Van Der Wal (1981), y el factor de corrección (F_c) para cálculo de caudales descrito por MINAGRI (2015). Para el mes de septiembre el aporte de agua de la Entrada 1 fue de 90.427 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 25.365 l/s. Para al mes de marzo, el aporte de agua proveniente la Entrada 1 fue de 40.425 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 137.5 l/s. Durante el mes de marzo el sistema obtuvo un mayor aporte de agua proveniente de los canales respecto al obtenido al mes de septiembre, siendo de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente. El volumen de agua de salida del microreservorio no es contante a lo largo del año, este cambia por los requerimientos hídricos de los cultivos presentes durante cada mes, los cuales cuentan con diferentes ciclos de vida. Actualmente el bordo la Palapa cuenta con un déficit en el manejo del agua para el

riego, tan solo para el mes de mayo se calcula un gasto de agua de 2,736.67 l/s para el total de área de cultivo el cual resulta mucho mayor al volumen de agua total que entra al sistema por día. Se recomienda hacer un seguimiento continuo en el gasto hídrico durante los meses posteriores, para poder tener una mejor aseveración en el manejo del recurso y poder dar mejores recomendaciones para la subsistencia del sistema.

PALABRAS-CLAVE: Recurso hídrico, disponibilidad, cuenca, microreservorio

ESTIMATE OF THE FLOW RATE ON A PERMANENT MICRORESERVOIR IN THE STATE OF MORELOS, MEXICO

ABSTRACT: The need for water for irrigation activities in the surroundings of the aquatic system is increasing, because rainfall conditions have currently changed due to the effect of global warming, which has caused greater demand for water resources and the type of crops grown in the study area. This evaluation was requested as support to the community of the town of Xalostoc, municipality of Ayala, Morelos, to know the amount of water that reaches the microreservoir. The objective was to estimate the flow rate or water flow in the microreservoir o “bordo” La Palapa at two times of the year. Sampling was carried out during the months of September (2019) and March (2020), during the rainy and dry seasons respectively. The input flow data were obtained using the Simple Float method described by Coche and Van Der Wal (1981), and the correction factor (Fc) for calculating flow rates described by MINAGRI (2015). In September, the water supply from Inlet 1 was 90,427 l/s and the water supply from Inlet 2 was 25,365 l/s. In March, the water supply from Inlet 1 was 40,425 l/s and the water supply from Inlet 2 was 137.5 l/s. During March, the system received a greater water supply from the canals than in September, being 177,925 l/s and 115,792 l/s respectively. The volume of water output from the microreservoir is not constant throughout the year; it changes due to the water requirements of the crops present during each month, which have different life cycles. Currently, the La Palapa area has a deficit in the management of water for irrigation. For the month of May alone, a water expenditure of 2,736.67 l/s is estimated for the total area of cultivation, which is much greater than the total volume of water that enters the system per day. It is recommended to continuously monitor water expenditure during the following months, in order to have a better assertion in the management of the resource and to be able to give better recommendations for the survival of the system.

KEYWORDS: Water resource, availability, basin, microreservoir

INTRODUCCIÓN

Aunque se han estudiado y conocen los fenómenos climáticos, existen alteraciones que resultan de gran interés para la sociedad sobre todo cuando estos cambios afectan los diferentes sectores socioeconómicos. Tal es el caso del cambio climático observado en los últimos años, cuyos impactos en el sector de agua han llevado a diversos actores a interesarse en el tema y debido a que el cambio climático con seguridad desafiará las prácticas existentes de administración del agua, especialmente en situaciones en las que se cuente con menor experiencia sobre la incorporación de acciones que fortalezcan a los sistemas de agua, es necesario evaluar sus efectos así como la sensibilidad de los elementos expuestos a nivel local (Camacho *et al.*, 2016).

Las consecuencias socioeconómicas de la interrupción y el colapso de los sistemas de agua dulce son a menudo profundas; la comunidad depende de los servicios ribereños naturales mucho más de lo que parece a simple vista y esto, sólo se hace evidente cuando el río está gravemente degradado (O’Keeffe y Le Quesne, 2010). La creciente explotación mundial de los recursos hídricos ha llevado a una reducción significativa de la biodiversidad de los ecosistemas dulceacuícolas y de los servicios ambientales que estos aportan. En muchos lugares, los sistemas lóticos (ríos, escurrimiento, etc.) han dejado de fluir debido a la demanda del recurso y a los cambios en la intensidad del periodo de lluvia. En respuesta a lo anterior, en las últimas décadas, la gestión integrada del recurso hídrico se ha vuelto una de las herramientas más actuales y prácticas para el uso, manejo y conservación del agua, en donde se considera no solo la satisfacción de las diferentes necesidades humanas sino, además, el desarrollo de estrategias que contribuyan a la conservación de sus características (Izquierdo y Madroñero, 2014).

Baron *et al.* (2003) identifican cinco factores ambientales dinámicos que regulan la mayor parte de la estructura y del funcionamiento de cualquier ecosistema acuático. *El patrón del caudal* (o cause) define las tasas y vías por las que la lluvia y la nieve derretida entran y circulan por los cauces de los ríos, los lagos, los humedales y el agua subterránea que los conecta, y también determina cuanto tiempo el agua queda almacenada en estos ecosistemas. 2. *La entrada de sedimentos* y de materia orgánica proporciona la materia prima que crea la estructura física del hábitat, los refugios, los sustratos y los sitios de desove, y provee y almacena los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales acuáticos. 3. *Las características de temperatura y luz* regulan los procesos metabólicos, los niveles de actividad y la productividad de los organismos acuáticos. 4. *Las condiciones químicas y nutricionales* regulan el pH, la productividad de plantas y animales y la calidad del agua, y 5. *El ensamble de plantas y animales* influye en las tasas de los procesos del ecosistema y en la estructura de la comunidad.

De estos cinco factores es posible que el patrón del cauce sea la variable más importante de los ríos y demás sistemas acuáticos de agua dulce, puesto que este define su morfología, estructura y diversidad biológica de ellos. Aunque la importancia relativa de cada uno de los factores varía entre los distintos tipos de ecosistemas acuáticos, aun así, la interacción de estos determinantes a través del tiempo y espacio definen la naturaleza dinámica de los sistemas de agua dulce (Baron *et al.*, 2003).

En la actualidad, México es una de las zonas más vulnerables al cambio climático y enfrenta un grave problema de escasez de agua dulce en muchas de sus regiones, debido a su situación geográfica y a sus condiciones climáticas, orográficas e hidrológicas. Hoy en día se manifiestan en el territorio nacional gran variedad de alteraciones que, en muchos casos, no son más que el inicio de una tendencia de los impactos que se verán exacerbados a lo largo de este siglo si no se adoptan medidas para aminorarlos (Greenpeace, 2010) y esto es causada por factores como gestiones hídricas insuficientes

y sequías (Treviño, 2024). Aunado a esto, es un país que cuenta con pocos cuerpos de agua lénticos naturales (70 lagos), con tamaños de superficie que varían entre las 1 000 y más de 10 000 hectáreas, que en conjunto cubren un área de 370 891 hectáreas (De la Lanza-Espino y García-Calderón, 2002). El problema se ha tratado de resolver desde hace mucho tiempo, mediante la construcción de embalses artificiales como presas, bordos, etc., los cuales ocupan el 67.13% de los cuerpos hídricos y cubren 188,781 ha que representan el 14.74% de la superficie inundada de las aguas epicontinentales (Quiroz-Castelán *et al.*, 2009). Para el estado de Morelos se tienen registrados 163 cuerpos almacenadores de agua (presas, bordos), los cuales en su gran mayoría son utilizados para el riego agrícola (Granados *et al.*, 2014, Trejo-Albarrán *et al.*, 2023).

Los microembalses, microreservorios o bordos, cuentan con características limnéticas similares a las de los lagos naturales someros; En general son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros, que se forman en la época de lluvias (Quiroz y Díaz, 2010), prácticamente no tienen estratificación de la temperatura o de los nutrimentos, por lo que no hay barreras físicas, esta similitud entre las condiciones de estos sistemas y los cuerpos de aguas naturales ocasiona que los organismos que viven en estos últimos, encuentren un sitio de dispersión y de refugio en los microembalses (López-Blanco y Zambrano-González, 2001).

En los microembalses, los cambios en los patrones de las precipitaciones afectan la calidad del agua embalsada (Murdoch *et al.*, 2000). Por otra parte, la calidad del agua de los sistemas acuáticos está en función de la región hidrológica a la que pertenece y de las sales disueltas que contenga. El tiempo de permanencia del agua de estos bordos o jagüeyes depende directamente de tres factores principales: precipitación, evaporación y escurrimiento superficial, así como de procedimientos secundarios como flujo de agua subterránea, pérdidas por filtración y captura de agua por la vegetación aledaña a los jagüeyes (Arredondo-Figueroa y Flores-Nava, 1992; Quiroz y Díaz, 2010).

Como se sabe, el gasto es conocido también como caudal, es la cantidad o volumen de agua que pasa por la sección transversal de un conducto, cauce o canal en una unidad de tiempo, se mide en metros cúbicos por segundo (m^3/s), también puede expresarse en litros por segundo, por minuto, etc. (Rabasa, 2016) Estas dos características son de gran importancia para iniciar proyectos de construcción de puentes, canales, estudios de hidráulica pluvial y de diseño de obras hidráulicas en general. Desafortunadamente medir directamente el gasto, a través del volumen descargado en un intervalo de tiempo, es una tarea sumamente complicada en la práctica; sobre todo si se trata de medición en canales de riego o de suministro de agua potable a las ciudades donde los caudales son muy grandes y requerirían recipientes enormes. Es por eso que normalmente recurrimos a la medición de gasto en forma indirecta, ya sea midiendo la velocidad y el área (Tapia *et al.*, 2012; Rabasa, 2016).

La importancia de medir el caudal como “Volumen de agua de un flujo por unidad de tiempo (medido en un punto determinado del conducto) de un cuerpo de agua, radica en la disponibilidad del agua a un determinado tiempo (Rabasa, 2016). La permanencia de agua en el sistema está directamente relacionada con los procesos del ciclo del agua y el consumo excesivo de este respecto a su recuperabilidad, lo puede resultar en la escasez del agua. Estos problemas, no solo resultan en afectaciones en los procesos bioquímicos del sistema. En la población humana, la falta del recurso hídrico la afecta de manera directa, ya que la falta de agua influye tanto en la calidad de vida de una población, como en su supervivencia. De manera indirecta, los cultivos de los productores mayoritarios se ven fuertemente arriesgado en su economía, como el desabasto de productos disponibles para la población.

La CONAGUA en su Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos (2010) informa que, de acuerdo con el REPDA, se calcula que en la cuenca del río Cuautla en el estado de Morelos, el volumen de extracción anual de agua superficial para el riego asciende a 245.88 hm³ y el volumen de extracción anual de agua superficial en la cuenca asciende a 282.88 hm³.

Asimismo, la CONAGUA para los informes de Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (2013), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zacatepec (2018), Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautla-Yuatepec (2018) y Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan (2018), reportan unas recargas totales medias anuales de 344.2 hm³/año, 85.3 hm³/año, 348.6 hm³/año y 47.4 hm³/año respectivamente para los acuíferos. La recarga total media anual (Rt) corresponde a la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como de recarga inducida.

Martínez (2015) informa en su trabajo del Plan de manejo del acuífero Tepalcingo-Axochiapan que, de acuerdo a la CONAGUA, el volumen de extracción de agua superficial en la cuenca es de 34 hm³ del cual, el principal usuario es el uso agrícola con el 87% (29.6 hm³) y seguido por el uso de servicios con el 13% (4.4 hm³). Del volumen superficial el 81% (27.28 hm³) de la extracción proviene de barrancas y ríos, 15.3 % (5.2 hm³) de manantiales y el 3.7% (1.52 hm³) de presas y bordos. Esta evaluación del gasto que se tiene en la entrada del bordo La Palapa, Morelos, fue solicitada como un apoyo a la Sociedad Cooperativa de Pesca Xalostoc, municipio de Ayala, Morelos, para conocer la cantidad de agua que llega al microreservorio. La importancia de medir el caudal de un cuerpo de agua, radica en la disponibilidad del agua a un determinado tiempo y el consumo excesivo de este respecto a su recuperabilidad, puede resultar en la escasez del agua. Por lo tanto, el objetivo fue estimar el gasto o caudal ecológico que ingresa al microreservorio o bordo La Palapa en dos épocas del año.

MATERIALES Y MÉTODOS

ZONA DE ESTUDIO

El microembalse “La Palapa” se encuentra en el municipio de Ayala, estado de Morelos en los 18°43'17.07" latitud Norte y 98°54'44.56" longitud Oeste, a 1,220 msnm. El municipio de Ayala se beneficia con la fluencia de la microcuenca del río Cuautla, del río Ayala que se favorece con los escurrimientos de las barrancas El Hospital y Calderón. Los tipos de suelo que predominan en el municipio son Chernozem, Castañozem, Feozem háplico, Litosol y Vertisol pélico, compuesto generalmente de rocas sedimentarias clásicas (INEGI, 2017). El clima que predomina en esta zona es cálido subhúmedo (Aw''(w) (i') g), con precipitación y temperatura media anual es de 800 mm y 24° C respectivamente (García, 2004).

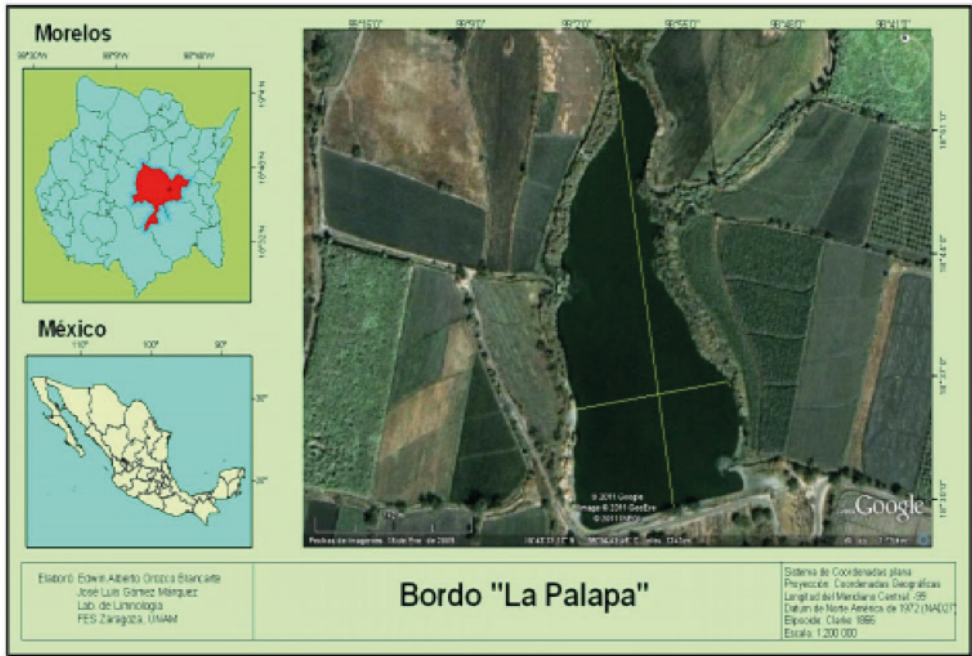
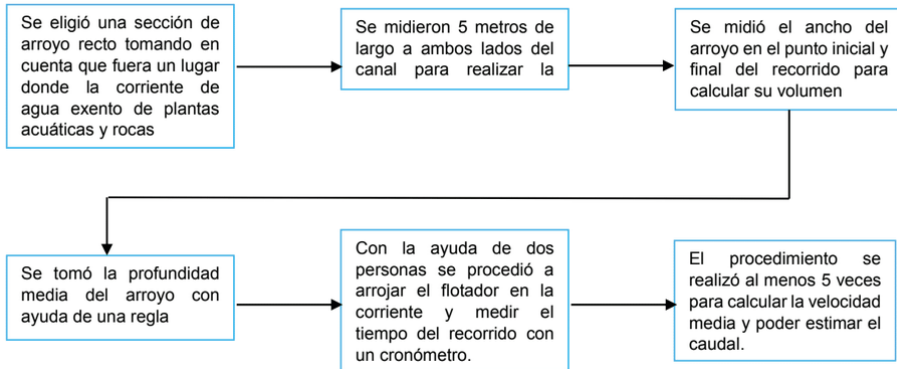


Fig. 1. Ubicación del microreservorio “La Palapa”, Morelos

Se utilizó el método del Flotador Sencillo (Coche y Van Der Wal, 1981).

Para realizar la prueba se utilizó una botella pequeña de 10 ml de polietileno como flotador y la medición se hizo en los dos canales de entrada del sistema, con base en el siguiente procedimiento:



Medición del caudal ecológico. Después de realizar las mediciones, se procedió al cálculo del caudal utilizando un factor de corrección con base en la tabla 1 propuesta por Minagri (2015)

$$\text{Velocidad } (v) = \left(\frac{d}{t}\right) (Fc), \quad \text{Caudal } (c)(\text{m}^3/\text{s}) = (v)(a)(p), \quad \text{Caudal } (\text{L/s}) = (c)(1000)$$

TIPO DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN FC
Canal revestido en concreto, profundidad del agua > 15	0.8
Canal en Tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7
Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra profundidad del agua < 15 cm.	0.25 – 0.5

Tabla 1. Determinación del factor de corrección (Fc) para cálculo de caudales por el método de flotador (MINAGRI, 2015).

RESULTADOS

El microreservorio La Palapa se encuentra en el municipio de Ayala, con un clima cálido subhúmedo, por lo cual cuenta con dos temporadas climáticas muy marcadas (lluvias y secas); siendo la temporada de lluvias entre los meses de junio a noviembre y la temporada de secas entre enero y junio. Durante los meses de secas se beneficia de la afluencia de la microcuenca del río Cuautla, específicamente del microreservorio Amate amarillo resulta de gran importancia para su subsistencia.

Durante los meses de evaluación del gasto, el sistema mostró una variación de los datos muy marcados respecto a los meses de muestreo, durante el mes de marzo el sistema obtuvo un mayor aporte de agua proveniente de los canales respecto al obtenido al mes de septiembre, siendo de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente.

Aunque el aporte de agua entrante al sistema por medio de los canales es mayor durante el mes de marzo, este aumento del volumen entrante se debe a que el aporte de agua provenientes de los escurrimientos y lluvias es menor, por lo que el agua aportada por el sistema aledaño es mayor. El aporte de agua proveniente de estas entradas varía en función de la temporada y del requerimiento hídrico que necesiten los ejidatarios para los cultivos de la región, así como de la necesidad de los pobladores aledaños al sistema acuático Amate amarillo.

1. Profundidad media = 0.23 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho = 0.94 m
4. Tiempo promedio (t) = 8.368 seg.
5. Velocidad (v) = $\left(\frac{5}{8.368}\right)(0.7) = 0.41826$ m/s
6. Caudal (c) = (0.41826)(0.94)(0.23) = 0.090427 m³/s
7. Caudal de agua = (0.090427)(1000) = 90.427 l/s

Tabla 2. Entrada del sistema no. 1 (septiembre 2019).

1. Profundidad media = 0.114 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho = 0.70 m
4. Tiempo promedio (t) = 12.584 seg.
5. Velocidad (v) = 0.31786 m/s
6. Caudal (c) = 0.025365 m³/s
7. Caudal de agua = 25.365 l/s

Vol. De agua Total entrante septiembre (2020) = 115.792 l/s

Tabla 3. Entrada del sistema no. 2 (septiembre 2019).

En el mes de septiembre el aporte de agua de la Entrada 1 fue de 90.427 l/s y el aporte de agua de la entrada proveniente de la Entrada 2 fue de 25.365 l/s. Durante este mes, las lluvias aumentan el volumen de agua y profundidad del sistema de manera natural mediante los escurrimientos registrándose una profundidad de máxima 3.2 dentro del sistema acuático. Durante esta temporada los cultivos no necesitan de un aporte agua por riego tan intenso, por lo que es necesario que el volumen de agua entrante al sistema por las entradas 1 y 2 se reduzca de manera controlada para evitar desbordamientos e inundaciones. Por lo tanto, la variación en el volumen de agua entre las entradas durante septiembre, se debe al cierre gradual y controlado de las compuertas de acuerdo a los requerimientos de los pobladores para el tipo de cultivo que se realiza durante esta época.

1. Profundidad media (p) = 0.1 m
2. Distancia (d) = 5 m
3. Ancho promedio (a) = 1 m
4. Tiempo promedio (t) = 8.658 seg.
5. Velocidad (v) = 0.40425 m/s
6. Caudal (c) = 0.040425 m³/s
7. Caudal de agua = 40.425 l/s

Tabla 4- Entrada del sistema 1 (marzo 2020).

1. Profundidad media = 0.14 m
2. Distancia = 5 m
3. Ancho medio = 0.7 m
4. Tiempo promedio (t) = 2.85 seg.
5. Velocidad (v) = 1.4035 m/s
6. Caudal (c) = 0.1375 m³/s
7. Caudal de agua = 137.5 l/s

Vol. De agua Total entrante (marzo 2020) = 177.925 l/s

Tabla 5. Entrada del sistema no. 2 (marzo 2020).

Respecto al mes de marzo, el aporte de agua proveniente de la Entrada 1 fue de 40.425 l/s y el aporte de agua proveniente de la Entrada 2 fue de 137.5 l/s. Durante este mes, la subsistencia del sistema depende totalmente del aporte agua que se obtienen por medio del sistema Amate amarillo, ya que se inicia la temporada de secas y el volumen de agua aportado proporcionado por los escurrimientos disminuye casi en su totalidad, por lo que, el volumen total de agua del microembalse disminuye considerablemente y se registra una profundidad del sistema La Palapa de máximo 2 metros. Por lo tanto, las compuertas del sistema Amate amarillo se mantienen más tiempo abiertas entre las 6 am y las 3 pm, para asegurar un aporte de agua adecuada a las necesidades de los ejidatarios por los cultivos de esa temporada, haciendo que la variación en los volúmenes entre los canales, pueda deberse a los cultivos predominantes en cada uno de los lados de las entradas del sistema y su requerimiento hídrico.

En la figura 2, se puede apreciar que aparentemente la profundidad del canal no influye de manera tajante en la velocidad del agua; sin embargo, esta variación se debe a dos factores, uno por el requerimiento hídrico de los cultivos presentes durante el mes de muestreo y el segundo, por el material de recubrimiento de canal en cada uno de ellos, la entrada 1 el canal es de tierra natural, mientras que la entrada 2 cuenta con un recubrimiento de concreto, lo cual afecta en gran medida la velocidad de escurrimiento del agua de acuerdo con la MINAGRI, en su tabla del factor de corrección.

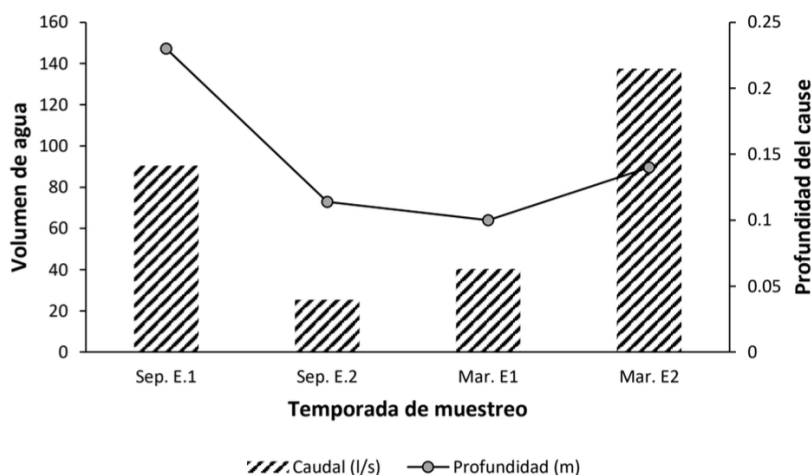


Figura 2. Grafica de volumen de entrada de agua respecto a la profundidad de las entradas

Respecto al volumen de agua de salida del sistema no se pudo realizar su medición, ya que la apertura de las compuertas de salida para el uso de cultivo se realiza en las mañanas entre las 7 am y 2 pm, mientras que los muestreos se realizaron entre las 3 pm y 4 pm debido a las actividades de los agricultores del ejido. También la contingencia sanitaria provocada por la pandemia del SARCOII (COVID-19), impidió la asistencia al sitio de muestreo durante los meses posteriores por lo que no se pudo obtener más datos del sistema. Sin embargo, los datos presentados en el presente trabajo fueron recopilados por un muestreo realizado (marzo) y por trabajos anteriores de otros compañeros (septiembre), por lo que son representativos del sistema.

Aunque no se pudo medir los volúmenes de agua de salida de manera presencial, se realizó una estimación aproximada del volumen de agua de salida mínima que requieren los pobladores para la subsistencia de los cultivos utilizando los tipos de cultivos presentes en la zona, su requerimiento hídrico de cada uno y su extensión de área de cultivo.

Cultivo	Temporada de cultivo	Requerimiento hídrico	Tipo de riego
Cebolla	Abr-Oct	$\frac{1 \text{ l/s}}{\text{ha}} = \frac{1,589.76 \text{ mm/ha}}{\text{año}}$	Goteo
Caña de azúcar	Mar-Mar	$\frac{1,500 \text{ mm}}{\text{año}}$	Gravedad
Higo	Ene-May (Planta perenne)	$\frac{600 - 700 \text{ mm}}{\text{año}}$	Gravedad
Frijol	Feb-May	$\frac{228 \text{ mm}}{\text{año}}$	Gravedad
Maíz	May-Oct	$\frac{700 \text{ mm}}{\text{año}}$	Gravedad
Requerimiento hídrico promedio =			$\frac{943.552 \text{ mm}}{\text{año}}$

Tabla 6. Cultivos presentes y dependencia hídrica del microreservorio La Palapa, Mor.

(Blanco, 2017; Mata *et al.*, 2011; Aguilar, 2015; Duarte y Gonzales, 2019; INIFAP, 2013; Melgarejo, 1999; Deras y Flor, 2018; Cruz, 2013)

Cultivo	Requerimiento hídrico en Litros	Requerimiento hídrico diario (litros)
Cebolla	15,897.600	86,400
Caña de azúcar	15,000,000	41,095.89041
Higo	7,000,000	19,178.08219
Frijol	2,280,000	19,000
Maíz	7,000,000	38,043.47826

Tabla 7. Requerimiento hídrico en litros durante el ciclo de vida de los cultivos presentes y dependientes del bordo La Palapa, Mor.

Aunque el volumen de agua de salida del microreservorio no es contante a lo largo del año, este cambia por los requerimientos hídricos de los cultivos presentes durante cada mes, los cuales cuentan con diferentes ciclos de vida.

DISCUSIÓN

La Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación, 1992), establece en sus diferentes artículos, el fundamento jurídico para el uso y explotación del recurso acuático en el nivel nacional. Un título de concesión es un documento otorgado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) que autoriza a las personas físicas o morales los derechos sobre el uso y explotación de bienes públicos, en este caso, el agua. En el contexto mexicano, el gobierno otorga estos títulos a personas físicas o jurídicas para aprovechar el agua de ríos, lagos, presas, pozos o norias, que son consideradas aguas nacionales. Un título de concesión se solicita cuando se quiere usar, explotar o aprovechar el agua en los siguientes casos: Para uso agrícola, industrial, pecuario, acuicultura, agro-industrial, generación de energía eléctrica, doméstico, público urbano o de servicios. El plazo de la concesión no será menor de cinco ni mayor de treinta años.

El uso de agua de estos sistemas, también denominados jaguayes, bordos, microembalses, estanques “rústicos” o microreservorios, se ha diversificado al ser empleados también como abrevaderos para el ganado y para actividades de extensionismo acuícola (Quiróz y Díaz, 2010). Si bien, estas actividades son realizadas de manera integral en el bordo La Palapa, su principal uso y función es utilizar el agua para las actividades de riego, la cual va afectando de manera gradual a la calidad del sistema por el gran aporte de nutrientes en relación a su volumen y su aumento significativo en su capacidad productiva.

En general son embalses someros con profundidades máximas entre uno y cinco metros, que se llenan principalmente durante la época de lluvias (Quiroz y Díaz, 2010), también al ser un sistema somero, el tiempo de permanencia del agua es menor a un año, ya que factores como la precipitación, evaporación y escurrimiento superficial alteran directamente su volumen. Estas características se aprecian claramente en La Palapa, ya que se registra una variación significativa en las profundidades máximas del sistema entre las dos temporadas de muestreo siendo de 3.2 y 2.95 metros respectivamente para las temporadas de lluvias y secas, sin rebasar los 5 metros registrados por Retana (2019).

Los cultivos para poder crecer y desarrollarse necesitan absorber agua del suelo. Cuando el contenido de humedad es bajo se dificulta la absorción, por ello es necesario regar para reponerla y que quede disponible para las plantas. De acuerdo con Demin (2014,) en riego siempre se deben reducir las pérdidas de agua, haciendo un uso más eficiente de la misma. La eficiencia de riego es la cantidad de agua disponible para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. En el riego por superficie comúnmente, en algunas partes del terreno, pueden existir pérdidas por infiltración, y para poder mantener un nivel adecuado de riego, la realización del cálculo en el requerimiento hídrico de cada cultivo y el área de cultivo aledaños a La Palapa, resultan fundamentales para poder saber el nivel mínimo adecuado del volumen de agua del sistema de riego y poder asegurar el volumen de agua adecuados en los cultivos.

Según Larrea *et al.* (2014) los sistemas de riego comunitarios abarcan diversos factores para obtener unos buenos logros tales como construcción de sistemas de riego, acuerdos equitativos de la repartición del agua, movilizaciones en pro y contra de políticas nacionales o locales conseguidos en beneficio de los sistemas de riego, a partir de la gestión de las organizaciones de los usuarios de las juntas de agua. López-Olivari (2016) describe que el manejo del agua de riego no sólo considera conocer las diferentes características de los sistemas de riego y aplicarlos, sino también entender cómo el agua (entregada por los métodos de riego o lluvia efectiva) se mueve desde el suelo a la atmósfera. La cuantificación y monitoreo de este movimiento de agua es fundamental para determinar las necesidades hídricas de las plantas y aplicar una óptima programación del riego. En el microembalse La Palapa este sistema de riego ha sido exitoso, pues la población dependiente del sistema cuenta con un horario fijo acordado sobre la apertura del canal de riego y el volumen de agua que se libera, por lo que se cuenta con un buen manejo aparente del sistema.

En la mayoría de los casos, por falta de información o asesoría directa, los agricultores aplican cantidades inadecuadas de agua, ya sea más de la que realmente necesitan los cultivos o bien cantidades inferiores. Para poder solucionar estos conflictos, la medición en los caudales tanto de entrada como de salida resultan fundamentales en las prácticas de riego, ya que de acuerdo con Fernández *et al.* (2019) el caudal máximo que requerirá el sistema de riego, deberá ser menor al caudal disponible en la fuente de abastecimiento, o menor al gasto concesionado. Actualmente el microreservorio La Palapa, cuenta déficit en el manejo del agua para el riego, tan solo para el mes de mayo se calcula un gasto de agua de 2,736.67 l/s para el total de área de cultivo, el cual resulta mucho mayor al volumen de agua total que entra al sistema por día, siendo el gasto de agua calculado durante la temporada de secas más del triple que el volumen de agua que recibe de Amate amarillo. Mequanent *et al.* (2021), citan que el bajo volumen de agua (agravado por el riego) durante la zona temporada de secas, puede no ser soportado por los peces, principalmente para el proceso reproductivo por las necesidades del hábitat que requieren.

Sin embargo, los ejidatarios deben pagar por la concesión del agua y, por lo tanto, es necesario comprobar que el gasto que tiene de entrada y salida del ecosistema acuático es el que ha sido aprobado por la CONAGUA, cuyo valor en promedio de acuerdo a la tarifa mensual en México es de 188.23 pesos por m³. En tanto, el segmento industrial es el que concentra los precios más altos por el alto consumo de agua que presentan (<https://www.gob.mx/tramites/ficha/contrato-de-servicio-de-agua-potable/Entidades>).

Actualmente el microreservorio La Palapa cuenta con una aparente sobre explotación del recurso hídrico teniendo un volumen de gasto mucho mayor comparado a los volúmenes de entrada de agua, si bien el riego en todos los cultivos puede no sea diaria. Durante el día, el riego tiene que asegurar que el volumen de agua sea compensado, por lo que se recomienda hacer un seguimiento continuo en el gasto hídrico durante los meses posteriores, para poder tener una mejor aseveración en el manejo del recurso y poder dar mejores recomendaciones para la subsistencia del sistema.

Mequanent *et al.* (2021), mencionan que el uso creciente del agua por parte de los diferentes sectores en la subcuenca son el riego, la energía hidroeléctrica, el suministro de agua para uso doméstico, el caudal ambiental, el uso industrial del agua, la navegación y los desarrollos turísticos. Sin embargo, el riego tiene la mayor proporción del uso del agua. Otras actividades de demanda de agua, son debido a los nuevos proyectos de riego emergentes, la urbanización, los requerimientos demográficos, las actividades productivas distintas, los diversos usos y usuarios, los incentivos normativos y económicos adversos al uso eficiente de los caudales, presupuestos, así como una gestión inercial, los cuales están aumentando agresivamente (Vega, 2024). El cambio climático también puede ser una amenaza para este sistema de agua dulce y entonces, relacionado con esta y otras razones, el caudal está disminuyendo, lo cual pone en peligro a las actividades de acuicultura extensiva de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*) y langosta de quelas rojas (*C. quadricarinatus*) que se realizan en este sistema acuático también.

Vega (2024) señala que, para las 13 regiones hidrológico-administrativas de México, la demanda del líquido supera, a veces en gran medida, la disponibilidad del agua para la realización de otras actividades diferentes a la necesaria para la agricultura. Por lo tanto, el gasto de un cuerpo de agua, pluviosidad, el caudal de los efluentes y la estructura del cauce, resultan ser factores de estudio fundamentales para el uso adecuado y correcto, así como el mantenimiento de los reservorios acuáticos terrestres en beneficio de las comunidades y sin que se vean afectados a su vez (Izquierdo y Madroño, 2013).

De manera global a manera de conclusión, se puede decir que durante los meses de muestreo el sistema La Palapa contó con una variación en los volúmenes de entrada de 177.925 l/s y 115.792 l/s respectivamente para las temporadas de secas y lluvias, y se estima que los factores más importantes que afectaron la variación en los volúmenes fueron el material de recubrimiento de los canales y los tipos de cultivos predominantes aledaños a las entradas, pudiendo ser cultivos de alto requerimiento hídricos los predominantes cercanos a la entrada 1.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los estudiantes del Laboratorio de Limnología por su participación en el monitoreo para la toma de muestras de agua. Al proyecto PE213718 del programa PAPIME de la DGAPA y a la FES Zaragoza, UNAM, por el apoyo financiero brindado para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

Aguilar, N. (2015). Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). México.

Arredondo-Figueroa, J.L. y Flores-Nava, A. (1992). Características Limnológicas de Pequeños Embalses Epicontinentales, su uso y manejo en la acuicultura. *Hidrobiológica*, Vol. 3/4: 1-10.

Baron, J. S., Poff, L., Angermeier, P. L., Dahm, C. N., Gleick, P. H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D. y Steinman, A.D. (2003). Ecosistemas de Agua dulce Sustentables. *Rev. Tópicos en Ecología*, No. 10: 1-15.

Blanco, M. C. (2017). Manual de producción de cebolla. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago, Chile.

Camacho, G.H.D., García, S.A.E. y Bravo, P. H.M. (2016). Evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de agua. Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México A.C. e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Juitepec, Morelos 142 p.

Coche A.G. y Van Der Wal, H. (1981). Agua para la piscicultura del agua dulce. Métodos sencillos para la acuicultura. Colecc. Roma, FAO: Capacitación, (4), 111 p.

COEM-Morelos (2014). Programa estatal hídrico de Morelos 2014-2018. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Dirección General de Legislación. 115p.

CONAGUA (2010). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuautla-Yautepec (1702), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, México, D.F.

CONAGUA (2013). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Cuernavaca (1701), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan (1704), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

CONAGUA (2018). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zacatepec (1703), estado de Morelos. Comisión Nacional del Agua. Diario Oficial de la Federación, CDMX.

Cruz, O. (2013). El cultivo de maíz, Manual para el cultivo de maíz en Honduras. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). Honduras.

De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón. J.L. (2002). Lagos y Presas de México. AGT Editor, 2da Edición, México. 680 p.

Demin, P. E. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego, Métodos de riego; fundamentos, usos y adaptaciones. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuarias (INTA). Argentina.

Diario Oficial de la Federación (1992). Ley de Aguas Nacionales. Secretaría General, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. CDMEX. Última Reforma DOF 08-05-2023. 118 p.

Duarte, J. O. y Gonzales V. J. (2019). Guía técnica cultivo caña de azúcar. Proyectos Paquetes Tecnológicos (PPT). San Lorenzo, Paraguay.

- Deras, H. y Flor, R. (2018). Cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador.
- Fernández, R. D., Martínez, M. M., Tavarez, E. C., Castillo, V. R. y Salas, M. R. (2019). Estimación de las demandas de consumo de agua. Colegio de Postgraduados (C.P.) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo social, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 33 p.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen, Serie Libros, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 p.
- Gastón, A. y Pouilly, M. (2012). Caudal Ecológico: Definiciones, Metodologías y adaptación a la región andina. Acta zoológica lilloana 56 (1-2): 15-30.
- Granados-Ramírez, J.G., Gómez-Márquez, J.L., Peña-Mendoza, B. y Martínez-Alaníz, M. (2014). Inventario de Cuerpos de Agua del Estado de Morelos. 1ª Edición AGT Editores Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 355 p.
- Greenpeace. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. México D. F. 69 p. www.greenpeace.org.mx
- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ayala, Morelos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INEGI (2017). Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- INIFAP (s.f.). Tecnologías de producción para el cultivo de frijol de temporal en el estado de San Luis Potosí. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). San Luis Potosí, México. Recuperado de. <http://www.campopotosino.gob.mx/modulos/tecnologiasdesc.php?id=32#:~:text=La%20siembra%20se%20debe%20realizar,semilla%2C%20dependiendo%20de%20la%20variedad.>
- INIFAP (2013). Tecnología para el cultivo de la caña de azúcar en temporal en el estado de San Luis Potosí. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). San Luis Potosí, México.
- Izquierdo, S. M. y Madroñero, P. S. (2014). Régimen de Caudal Ecológico, Herramienta de gestión para conservar la biota acuática. Rev. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 23-2: 77-94.
- Larrea, D., Sosa, B. y CESA. (2014). El riego, planificación y tecnificación. Ed. Quinto. Ecuador.
- López-Blanco J. y Zambrano-Gonzales L. (2001). Propiedades Limnéticas de Sistemas Dulceacuícolas Pequeños en Acambay, México: Correlación de datos de campo con imágenes de video con color. UNAM, Investigaciones Geográficas, No. 44: 64-64.
- López-Olivari, R. (2016). Manejo y uso eficiente del agua para riego intrapredial para el sur de Chile, conceptos y consideraciones básicas en métodos y programación de riego para optimizar el recurso hídrico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile.
- Mata, H., Patishtán, J., Vázquez, J. y Ramírez, M. (2011). Fertiirrigación del cultivo de cebolla con riego por goteo en el sur de Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México.
- Martínez, S.J. (2015). Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Ingeniería UNAM. México. 94 p.
- Melgarejo, P. (1999). Frutales de zonas áridas, el cultivo de la Higuera (*Ficus carica L.*). Ediciones-AMV. Madrid, España.

- Mequanent, D., Mingist, M., Getahun, A. y Anteneh, W. (2021). Impact of irrigation practices on Gilgel Abay, Ribb and Gumara fisheries, Tana Sub-Basin, Ethiopia. *Heliyon*, 7: e06523.
- Minagri (2015). Manual No. 5, Medición de Agua. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. Lima, Perú.
- Murdoch, P.S., Barón, J.S., y Millar, T.L. (2000). Potential effect of climate change on surface water quality in North American. *Journal of the American Water Research Association*, 36, 347-366.
- O'Keeffe, J. y Le Quesne, T. (2010). Como conservar los ríos vivos, guía sobre los caudales ecológicos. WWF, 2ª ed. Gland, Suiza.
- Quiroz, H. y Díaz, M. (2010). Los bordos y su aprovechamiento en Morelos. *Inventio*, 6 (12): 33-38.
- Quiroz-Castelán, H., Martínez, J.C., García, R.J., Molina, A.F.L. y Díaz V.M. (2009). Análisis de los componentes zoobentónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en el Norte del Estado de Guerrero, México. 25 p. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. Vo. 10, 25 p.
- Rabasa, G. (2016). Las curvas de gasto en las estaciones de aforo: Limnímetros y aforos directos. Iagua. Confederación Hidrográfica del Ebro. <https://www.iagua.es/blogs/conoce-che-y-gestion-agua/curvas-gasto-estaciones-aforo-limnmetros-y-aforos-directos>
- Retana, R. J. (2019). Análisis de la calidad del agua y su relación con la comunidad zooplánctica en el microembalse La Palapa, en Morelos, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en ICMYL, UNAM, México. 115 p.
- Tapia, R.G., J.P.A. Molina, G.B.M. Pérez y A.A.A. Torres. (2012). Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico. *Publicación Técnica No. 356*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, México. 100 p.
- Trejo-Albarrán, R., Gómez-Márquez, J.L., Granados-Ramírez, J.G. y Granjeno-Colín, E. (2023). Riqueza del zooplancton de ambientes lénticos del estado de Morelos. *International Journal of Biological and Natural Sciences*, 3(4), 1-17.
- Treviño, R. (2024). Sequías y gestiones hídricas insuficientes: las causas de escasez de agua en México. *TecScience*. <https://tecscience.tec.mx/es/humano-social/escasez-de-agua-mexico/>
- Vega, L.E. (2014). Foro 20-20 UNAM Encuentro Multidisciplinario. *Gaceta UNAM*, 9 de diciembre del 2024. <https://www.gaceta.unam.mx/tag/foro-20-20-encuentro-multidisciplinario/>

LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS ELEVATE OXIDATIVE STRESS IN TOBACCO PLANTS

Data de submissão: 13/12/2024

Data de aceite: 10/01/2025

J. Antonio Heredia-Rojas

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Eduardo Alfonso Rebollar Tellez

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Pedro Antonio Noguera Diaz

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Abraham O. Rodríguez-De la Fuente

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Pedro Cesar Cantú Martínez

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Omar Heredia-Rodríguez

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Deyanira Quistian-Martínez

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Alberto Valadez-Lira

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

Erick Freeze-Gallardo

Facultad de Ciencias Biológicas,
Universidad Autónoma de Nuevo León,
México

ABSTRACT: There is growing global interest in the biological effects of non-ionizing electromagnetic radiation, especially extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMFs) in the environment. While the harmful effects of magnetic fields on humans are yet to be proven, oxidative stress is suggested as a potential cause of adverse effects from ELF-EMFs. This study examined the impact of ELF-EMFs on enzyme activity in tobacco plants under oxidative stress. *Nicotiana tabacum* (L.) seedlings of the Xanthi variety were continuously exposed to 2.0 mT and 60 Hz ELF-EMFs for 24, 48, 72, and 96 hours. The biochemical markers measured included ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) activities in leaf and root extracts. Increased APX and CAT enzyme activities were observed in leaf extracts after

48, 72, and 96 hours of magnetic field exposure. Additionally, magnetic field exposure elevated APX enzyme activity in root extracts at 48 and 72 hours, and CAT enzyme activity at 48, 72, and 96 hours. In contrast, 24-hour ELF-EMF exposure did not affect APX and CAT enzyme activities in leaf and root extracts. All treatments were compared with a properly sham-exposed control. These findings suggest that ELF-EMFs induce oxidative stress, potentially enhancing the oxidative defense system in tobacco plants.

KEYWORDS: Electromagnetic fields; Oxidative stress; Ascorbate peroxidase, Catalase, Tobacco plant.

INTRODUCTION

A plethora of studies have been related to the bio-effects of extremely low frequency-electromagnetic fields (ELF-EMFs) on organisms. In most cases, the mechanisms of interaction, which are mainly associated with low and moderate flux density magnetic fields, remain to be elucidated. These mechanisms are mostly related to magnetic interactions with enzyme catalyzed-biochemical processes. Furthermore, a potential link between magnetic fields and their effects on living organisms is the oxidative stress (Zhang et al., 2017; Coballase-Urrutia et al., 2018), for which a potential relationship between exposure to magnetic fields and antioxidant systems has observed (Scaiano et al., 1994; Li and Chow, 2001; Kula et al., 2002; Zhang et al., 2003).

Regarding plants, the effects of ELF-EMFs and static magnetic fields (SMFs) exposure on oxidative stress in plants has been widely investigated (Tkalec et al., 2007; Sharma et al., 2009; Nabizadeh et al. 2014; Jouni et al., 2012), indicating an increased oxidative enzyme activity as a consequence of magnetic field exposure.

In a long-term exposure experiment, Mahmood et al. (2013) showed that peroxidase enzyme activity of oil palm exposed for six months or seven years to electromagnetic fields from a 275 KV high-voltage transmission line was significantly increased, suggesting an oxidative stress response.

On the other hand, tobacco plant offers a versatile model to evaluate physiological changes induced for a variety of factors (Ganapathi et al., 2004), for which we selected this plant model to evaluate EMFs effects on enzyme activities of oxidative stress. For instance, Sahebamei et al. (2007) investigated the effects of magnetic fields at 10 mT and 30 mT on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. They found an increased superoxide dismutase activity and decreased catalase and ascorbate peroxidase activities induced by SMF exposure. Furthermore, the level of lipid peroxidation was also increased by magnetic fields, thus indicating that SMFs may deteriorate antioxidant defense system of plant cells. Moreover, Touati et al. (2013) observed that SMFs at 100 mT exposure treatment on *Raphanus sativus*, caused a significant increase of catalase activity in radish plantlets.

Because of magnetic fields are ubiquitous abiotic stressors, they affect life bodies in general. Previous research has reported the effects of EMFs on a variety of agriculturally important plants (Angel et al., 2005). Based in the increasing research regarding this concern, it has been proposed that oxidative stress underlies EMFs effects on plants (Tkalec et al.2005; Gill and Tuteja, 2010; Serdyukov and Novitskii, 2013). On the other hand, science faces the serious challenge of doubling global crop production by 2050, due to the continuing increase in world population and to meet future food demand, changes in diet and increased consumption of biofuels (Ray et al., 2013). To solve this problem, research is carried out on different topics in agronomy, one of these is the study of the effects of applying electromagnetic fields to plants, which have shown several effects on growth (Pietruszewski and Martínez, 2015).

Taken together, we have undertaken the present study to further evaluate the effect of ELF-EMFs on enzyme activity of oxidative stress in tobacco plants.

MATERIALS AND METHODS

Plant material and growth conditions

Tobacco seeds (Xanthi variety of *Nicotiana tabacum* L.) were obtained from the Centro de Investigación y Estudios Avanzados at Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, Guanajuato, México. They were soaked in 70% ethanol for one minute, 20% sodium hypochlorite solution for 20 min, and rinsed with sterile distilled water for 30 min, after which they were planted in Petri dishes (15 seeds/dish), containing MS culture medium (Murashige and Skoog, 1962) and allocated in an environmental chamber (Biotronette Mark III, Lab-Line Instruments, Melrose Park, IL) maintained at 25 ± 0.5 °C undisturbed. We selected seedlings with straight primary roots (21 days aged) for the bioassays and used 15 plantlets for each studied group. Furthermore, to determine the viability of the tobacco seeds, a tetrazolium test was carried out prior to germination experiments. The seeds were soaked in distilled water for 24 hours, then the water was removed and a 1.00% tetrazolium solution was added, covering all the seeds. The seeds were incubated for 3 days at room temperature and protected from light. After this incubation period, the topographic staining pattern was demonstrated with aid of a stereoscopic microscope and the viability percentage was estimated (95% seed-viability was observed). ELF-EMFs treatment regimens are detailed below.

Magnetic field exposure facilities and measurements

We used a standardized and calibrated home-made magnetic field exposure facility, as previously reported by our research team (Heredia-Rojas et al., 2004; Heredia-Rojas et al., 2010; Heredia-Rojas et al., 2018). In brief, a coil was prepared by winding 552 turns of enamel-insulated copper wire (1.3 mm diameter), which formed a 13.5-cm radius and 71-cm length cylindrical solenoid and was connected to step-down and variable transformers, plugged to a 110 V AC source. Cultured seedlings were placed in the middle of this structure in predetermined zones, where the magnetic field was homogeneous with rms value of 2.0 mT, and kept at $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 45% humidity. Sham-treated seedlings were used as negative controls, which were placed in the same room in a magnetic field device of identical characteristics turned off.

Magnetic flux density was determined by a Gaussmeter (Bell FW 6010, Orlando, FL) and an attached oscilloscope (BK-Precision model 2120; Dynascan Corp., Chicago, IL), which was required to monitor the resulting field and a 60-Hz alternating sinusoidal magnetic field was generated. Frequency content was almost pure 60 Hz ($< 2\%$ total harmonic distortion) and $0.3\text{ }\mu\text{T}$ and $20\text{ }\mu\text{T}$ values were observed for respective background magnetic and local geomagnetic fields.

Experimental protocol

In the present study, we performed the experiments with tobacco seedlings in the presence or absence (sham) of continuous exposure of ELF-EMFs, at 60 Hz frequency and 2.0 mT of magnetic flux density, for 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h. We selected 15 seedlings to measure APX and CAT enzyme activities in root and leaf extracts.

Extraction and assay of the enzymes of antioxidant system

In summary, samples of 200 mg (fresh weight) of leaves and roots were homogenized separately in 1.0 ml of 50 mM Na-phosphate buffer (pH 7.0) containing 5 mM ascorbate, 5 mM dithiothreitol (DTT), 5 mM EDTA, 100 mM NaCl, and 2% (w/v) polyvinylpyrrolidone (PVP). The homogenate was filtered through sterile gauze and then centrifuged at 15,000g for 15 min at 4°C . The supernatant was recovered which was used for the enzymatic analysis. Protein contents were determined by the spectrophotometric method of Bradford (1976) at 280 nm, using bovine serum albumin (BSA) as standard.

The APX activity was determined in accordance to the method described by Nakano and Asada (1981) by monitoring the rate of ascorbate oxidation at 290 nm. The reaction mixture contained 50 mM phosphate buffer (pH 7.0), 0.1 mM EDTA, 5 mM ASH and 10 μl enzyme aliquot in 200 μl final volume. The reaction was started by adding H_2O_2 to a final concentration of 1 mM. The reaction rate was monitored by the decrease in absorbance at

290 nm. The rate constant was calculated using the ASH extinction coefficient of per min⁻¹ mg⁻¹ of protein present and corrected for the rate obtained prior to the addition of H₂O₂. APX activity was expressed as units of enzyme activity (U), where 1 U is the amount of enzyme in mg that is needed to oxidize 1 μmol of ascorbic acid to ascorbate during 1 min.

The CAT activity was measured according to the original method proposed by Beers and Sizer (1952). The reaction mixture contained 50 mM Potassium Phosphate Buffer pH 7.0 and 10 μl enzyme aliquot in 200 μl final volume. The reaction was started by adding H₂O₂ to a final concentration of 5 mM. The decomposition of H₂O₂ was followed by the decline in absorbance at 240 nm. CAT activity was expressed as units of enzyme activity (U), where 1 U is the amount of enzyme in mg that is needed to oxidize 1 μmol of H₂O₂ during 1 min.

Statistical analysis

Statistical differences for APX and CAT activities between treated cultures and sham-exposed controls were calculated by a *t*-test for independent samples. Data normality was calculated by the Kolmogorov-Smirnov test ($p < 0.05$). All analyses were performed using the SPSS software version 20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

RESULTS

Figure 1 shows the APX activity in tobacco seedlings leaf extracts. A significant ($p < 0.05$) increase in APX activity was observed at 48 h, 72 h, and 96 h of continuous ELF-EMFs exposure at 2.0 mT and 60 Hz frequency, as compared with sham-exposed controls ($p < 0.05$), whereas Figure 2 depicts APX activity values for root extracts. The APX activity was also significantly ($p < 0.05$) increased at 48 h and 72 h exposure to ELF-EMFs but no difference was found for 24 h and 96 h exposure conditions, as compared with sham-exposed cultures ($p > 0.05$).

In addition, Figure 3 shows CAT's activity values in leaf extracts after exposure of tobacco plantlets at 2.0 mT and 60 Hz magnetic fields. A statistically significant ($p < 0.05$) increase in CAT activity was observed at 48 h, 72 h, and 96 h exposure to ELF-EMFs ($p < 0.05$). However, we did not find differences at 24 h continuous exposure, as compared with sham-exposed control cultures ($p > 0.05$). In Figure 4, we showed CAT activity values for root extracts. The level of CAT activity was also modified after magnetic field exposure and we observed an increased activity at 48 h, 72 h, and 96 h exposure to ELF-EMFs ($p < 0.05$). However, no significant changes were observed at 24 h exposure compared with sham-exposed controls ($p > 0.05$).

DISCUSSION

We evaluated the effect of ELF-EMFs at 60 Hz of frequency and 2.0 mT of magnetic flux density on oxidative stress enzyme activities on tobacco plants. Results showed that magnetic fields increased APX and CAT activities in leaf and root extracts after 48 h, 72 h, and 96 h of magnetic field exposure. These findings evidenced a plant response against oxidative stress caused by magnetic field exposure, which is critical in part, to understand the mode of action of magnetic fields on life bodies. Since the 1970s, oxidative stress has been recognized as an inducer of cytotoxicity. Because of this, a plethora of studies have reported protective benefits of antioxidants (Schmidt et al., 2015; Xu et al., 2017).

As magnetic fields are widely distributed in the modern environment, they may affect organisms, thus increasing the concern about the possible risk of functional disorders due to exposure to this non-ionizing radiation, particularly in plants, which do not escape from ELF-EMFs sources. A general hypothesis claims that magnetic fields, as an abiotic stressor, are associated with oxidative stress, which in turn, increases activity, concentration, and lifetime of free radicals, in particular, reactive oxygen species (ROS) (Allen, 1995; Mittler, 2002). It is well known that ROS are produced within cells as a consequence of normal metabolic processes, however under stress conditions, ROS production increases (Smirnov, 1993). Thus, abiotic stress results in the formation of ROS in plants that makes the condition called oxidative stress (Apel and Hirt, 2004). Under stress conditions, similar to ELF-EMF exposure used in the current study, we hypothesized that the generation of ROS is unavoidable and plants need to have a set of enzymatic antioxidant molecules to protect themselves from cellular damage, as previously reported (Foyer and Noctor, 2000; Burritt and MacKenzie, 2003), which agrees with our results, indicating an elevation of oxidative stress enzyme activity.

Recently, Kthiri et al. (2019) demonstrated that an exposure to SMFs at 250 mT on *Saccharomyces cerevisiae* cultures, modified the activities of catalase, superoxide dismutase, and glutathione peroxidase, suggesting an oxidative stress. In this regard, Kivrak et al. (2017) observed that ELF-EMFs exposure negatively affected the antioxidant defense system, which become relevant considering that oxidative stress occurs when antioxidant defense system does not prevent the harmful effects of free radicals. Moreover, it has been proposed that DNA is indirectly affected by the action of ELF-EMFs, due to anomalous movement of electrons (Valberg et al., 1997), which may generate guanine radicals, that in turn, upon reaction with water may induce oxidative DNA damage (Giese, 2006). In a previous report (Heredia-Rojas et al., 2020), we demonstrated that ELF-EMFs clastogenic effect induced in mouse bone marrow was significantly reduced, when animals were pretreated with the widely used antioxidant resveratrol, using ELF-EMFs exposure of similar characteristics of those used here. These findings suggest the involvement of an oxidative stress in magnetic fields-induced clastogenicity.

In contrast, several reports have claimed an anti-oxidative effect of magnetic fields, particularly ELF-EMFs similar of those used in the current study but applied on mammalian cells (Balind et al., 2014; Cichoń et al., 2017). More recently, Ahn et al. (2020) observed that an exposure to pulsed magnetic fields (PMFs) prevented red blood cells from oxidative stress. Furthermore, with regard to mammalian cells, it has been proposed that magnetic field exposures are closely related with an increase in the activity, concentration, and lifetime of free radicals after SMFs (Politański et al. 2010; Ghodbane et al., 2013) or electromagnetic field exposure (Kerimoğlu et al., 2018).

In conclusion, ELF-EMFs at 2.0 mT and 60 Hz exposure induced an oxidative stress, and as a consequence, potentiated the oxidative defense system in tobacco plants. Despite the mechanism of action for cytotoxicity induced by ELF-EMFs has not yet been elucidated, reports have shown intrinsic electrical features associated with biostructures and biological functions such as development, growth, and repair. Furthermore, living organisms are sensitive to external electromagnetic fields of very weak intensities, which may be debatable. The lack of realistic mechanisms to couple exposure to ELF-EMFs and biological events has resulted in many unfocused investigations, inconsistent observations, and interpretations. Nowadays, there is no accepted mechanism by which ELF-EMFs consistently produced an oxidative stress condition. However, most researchers agree that oxidative stress is one of the main biological magnetic field effects. Further studies are required to fully understand this phenomenon.

AUTHOR'S CONTRIBUTIONS

J. Antonio Heredia-Rojas: Design of the experiments, bioassays, experimental procedures; Abraham O. Rodríguez-De la Fuente: Conceptualization, data curation and statistical analyses; Erick Freeze-Gallardo: Experimental procedures; Deyanira Quistian-Martínez: Supervision, writing-review and editing; Ricardo Gomez-Flores: Substantially revised the work and original draft preparation; David F. La fuente-Rincón: Experimental procedures, supervision; Omar Heredia-Rodríguez: Magnetic field exposure facilities and measurements and Alberto Valadez-Lira: Critically revising the manuscript and original draft. All authors read and approved the final manuscript.

REFERENCES

- Ahn, H., K. Shin and H. Lee. 2020. Effects of Pulsed Magnetic Field on the Hemolysis of Erythrocytes Exposed to Oxidative Stress. In *Oxygen Transport to Tissue XLI* (pp. 263-269). Springer, Cham. *Adv. Exp. Med. Biol.* 1232: 263-269. DOI: 10.1007/978-3-030-34461-0_33.
- Allen R. D. 1995. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107: 1049-1054. DOI: 10.1104/pp.107.4.1049
- Angel D.S.T., A. De Souza, D. Garcia, L. Sueiro, L. Licea, E. Porras. 2005. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds effect on the growth and yield of plants cultivated late in the season. *Spanish J. Agric. Res.* 3(1): 113-122.

- Apel, K. and H Hirt. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55: 373-399. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701.
- Balind, S. R., V. Selaković, L. Radenović, Z. Prolić and B. Janać. 2014. Extremely low frequency magnetic field (50 Hz, 0.5 mT) reduces oxidative stress in the brain of gerbils submitted to global cerebral ischemia. *Plos One*. 9: e88921. DOI: 10.1371/journal.pone.0088921.
- Beers, R. and T. Sizer. 1952. Spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *J. Biol. Chem.* 195:133–140. [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(19\)50881-X/pdf](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(19)50881-X/pdf)
- Bradford, M. B. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248-254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999.
- Burrit, D. J. and S. MacKenzie. 2003. Antioxidant metabolism during the acclimation of *Begonia x erythrophylla* to high-light. *Annals of Botany*. 91: 783-794. DOI: 10.1093/aob/mcg076.
- Cichoń, N., M. Bijak, E. Miller and J. Saluk. 2017. Extremely low frequency electromagnetic field (ELF-EMF) reduces oxidative stress and improves functional and psychological status in ischemic stroke patients. *Bioelectromagnetics*. 38: 386-396. DOI: 10.1002/bem.22055.
- Coballase-Urrutia, E., L. Navarro, J. L. Ortiz, L. Verdugo-Díaz, J. M. Gallardo, M. E. Hernández and F. Estrada-Rojo. 2018. Static magnetic fields modulate the response of different oxidative stress markers in a restraint stress model animal. *Biomed Res. Int.* 2018: 3960408. DOI: 10.1155/2018/3960408
- Foyer, C. and G. Noctor. 2000. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signalling. *New Phytol.* 146: 359-388. DOI:10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x
- Ganapathi, T. R., P. Suprasanna, P. S. Rao and V. A. Bapat. 2004. Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.)-A model system for tissue culture interventions and genetic engineering. *Indian Journal of Biotechnology*. 3: 171-184. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/7722>
- Ghodbane, S., A. Lahbib, M. Sakly and H. Abdelmelek. 2013. Bioeffects of static magnetic fields: Oxidative stress, genotoxic effects, and cancer studies. *Biomed Res. Int.* 2013: 602987. DOI: org/10.1155/2013/602987
- Giese B. 2006. Electron transfer through DNA and peptides. *Bioorg. Med. Chem.* 14: 6139-43. DOI: 10.1016/j.bmc.2006.05.067
- Gill, S.S. and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants, *Plant Physiol. Biochem.*, 2010, vol. 48, pp. 909–930.
- Heredia-Rojas, J. A., D. E. Caballero-Hernández, A. O. Rodríguez-de la Fuente, G. Ramos-Alfano and L. E. Rodríguez-Flores. 2004. Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. *Bioelectromagnetics*. 25: 63-68. DOI: 10.1002/bem.10184
- Heredia-Rojas, J. A., A. O. Rodríguez de la Fuente, J. M. Alcocer González, L. E. Rodríguez-Flores, C. Rodríguez-Padilla, M. A. Santoyo-Stephano, E. Castañeda-Garza and R. S. Taméz-Guerra. 2010. Effect of 60 Hz magnetic fields on the activation of hsp70 promoter in cultured INER-37 and RMA E7 cells. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Anim.* 46: 758-763. DOI: 10.1007/s11626-010-9342-y

Heredia-Rojas, J. A., A. O. Rodríguez de la Fuente, R. Gomez-Flores, O. Heredia-Rodríguez, L. E. Rodríguez-Flores, M. Beltcheva and E. Castañeda-Garza. 2018. In vivo cytotoxicity induced by 60 Hz electromagnetic fields under a high-voltage substation environment. *Sustainability*. 10: 2789. DOI: [org/10.3390/su10082789](https://doi.org/10.3390/su10082789)

Heredia-Rojas, J. A., M. Beltcheva, A. O. Rodríguez-de la Fuente, R. Gomez-Flores, R. Metcheva, P. C. Cantú-Martínez and O. Heredia-Rodríguez. 2020. Evidence of radioprotective effect of resveratrol against clastogenic effect of extremely low-frequency electromagnetic fields. *Acta Zool. Bulg. Suppl.* 15: 49-54. https://acta-zoologica-bulgarica.eu/older-articles/Suppl_15_09.pdf

Jouni, F. J., P. Abdolmaleki and F. Ghanati. 2012. Oxidative stress in broad bean (*Vicia faba* L.) induced by static magnetic field under natural radioactivity. *Mutat. Res.* 741: 116-121. DOI: [10.1016/j.mrgentox.2011.11.003](https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.11.003)

Kıvrak, E. G., K. K. Yurt, A. A. Kaplan, I. Alkan and G. Altun. 2017. Effects of electromagnetic fields exposure on the antioxidant defense system. *J. Microsc. Ultrastruct.* 5: 167-176. DOI: [10.1016/j.jmau.2017.07.003](https://doi.org/10.1016/j.jmau.2017.07.003)

Kthiri, A., S. Hidouri, T. Wiem, R. Jeridi, D. Sheehan and A. Landouls. 2019. Biochemical and biomolecular effects induced by a static magnetic field in *saccharomyces cerevisiae*: Evidence for oxidative stress. *Plos One*. 14: e0209843. DOI: [10.1371/journal.pone.0209843](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209843)

Kerimoğlu, G., C. Güney, Ş. Ersöz and E. Odacı. 2018. A histopathological and biochemical evaluation of oxidative injury in the sciatic nerves of male rats exposed to a continuous 900-megahertz electromagnetic field throughout all periods of adolescence. *J. Chem. Neuroanat.* 91: 1-7. DOI: [10.1016/j.jchemneu.2018.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2018.01.001)

Kula, B., A. Sobczak and R. Kuśka. 2002. Effects of electromagnetic field on free-radical processes in steelworkers. Part I: Magnetic field influence on the antioxidant activity in red blood cells and plasma. *Journal of Occupational Health*, 44: 226-229. DOI.org/[10.1539/joh.44.226](https://doi.org/10.1539/joh.44.226)

Li, S. H. and K. C. Chow. 2001. Magnetic field exposure induces DNA degradation. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 280: 1385-1388. DOI: [10.1006/bbrc.2001.4286](https://doi.org/10.1006/bbrc.2001.4286)

Mahmood, M., O. B. Bee, M. T. M. Mohamed and S. Subramaniam. 2013. Effects of electromagnetic field on the nitrogen, protein and chlorophyll content and peroxidase enzyme activity in oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) Leaves. *Emir. J. Food Agric.* 25: 471-482. DOI: [10.9755/ejfa.v25i6.15583](https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i6.15583)

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 7: 405-410. DOI: [10.1016/s1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02312-9)

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum.* 15: 473-497.

Nabizadeh, S., A. Majd, S. Arbabiyan, M. Mirzai and F. Sharifnia. 2014. Assessment of the effect of electromagnetic fields on biochemical and antioxidant parameter changes of *Cucurbita maxima* Duchesne. *Advances in Environmental Biology.* 8: 185-193. link.gale.com/apps/doc/A417570469/AONE?u=anon~fffd177&sid=googleScholar&xid=e25c24c7

Nakano, Y. and K. Asada. 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22: 867-880. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

Pietruszewski, S., E. Martínez. 2015. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. *International Agrophysics* 29(3): 377-389. Doi: <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0044>.

- Politański, P., E. Rajkowska, M. Pawlaczyk-Łuszczynska, A. Dudarewicz, A. Wiktorek-Smagur, M. Śliwińska-Kowalska and M. Zmyślony. 2010. Static magnetic field affects oxidative stress in mouse cochlea. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 23: 377-384. DOI: 10.2478/v10001-010-0041-4
- Ray, D.K., N.D. Mueller, P.C. West, J.A. Foley. 2013. Yield trends are Insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE* 8(6): e66428. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>.
- Sahebamei, H., P. Abdolmaleki and F. Ghanati. 2007. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. *Bioelectromagnetics*. 28: 42-47. DOI: 10.1002/bem.20262.
- Scaiano, J. C., F. L. Cozens and J. McLean. 1994. Model for the rationalization of magnetic field effects in vivo. Application of the radical-pair mechanism to biological systems. *Photochem. Photobiol.* 59: 585-589. DOI: 10.1111/j.1751-1097.1994.tb09660.x
- Schmidt, H. H., R. Stocker, C. Vollbracht, G. Paulsen, D. Riley, A. Daiber and A. Cuadrado. 2015. Antioxidants in translational medicine. *Antioxid. Redox Signal.* 23: 1130–1143. DOI: 10.1089/ars.2015.6393.
- Serdyukov, Y.A. and Y.I. Novitskii. 2013. Impact of weak permanent magnetic field on antioxidant enzyme activities in radish seedlings, *Russ. J. Plant Physiol.* 60: 69–76.
- Sharma, V. P., H. P. Singh, R. K. Kohli and D. R. Batish. 2009. Mobile phone radiation inhibits *Vigna radiata* (mung bean) root growth by inducing oxidative stress. *Sci. Total Environ.* 407: 5543-5547. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.07.006
- Smirnof, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytol.* 125: 27-58. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x>
- Tkalec, M., K. Malarić, B. Pevalek-Kozlina. 2005. Influence of 400, 900 and 1900 MHz electromagnetic fields on *Lemna minor* growth and peroxidase activity. *Bioelectromagnetics*, 26(3): 185-193.
- Tkalec, M., K. Malarić and B. Pevalek-Kozlina. 2007. Exposure to radiofrequency radiation induces oxidative stress in duckweed *Lemna minor* L. *Sci. Total Environ.* 388: 78-89. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.07.052
- Touati, M. A., N. G. Boughanmi, M. B. Salem and R. Haouala. 2013. Effects of moderate static magnetic field presowing treatment on seedling growth and oxidative status in two *Raphanus sativus* L. varieties. *African Journal of Biotechnology*. 12: 275-283. DOI: 10.5897/AJB12.2905
- Valberg, P.A., R. Kavet and C. N. Rafferty. 1997. Can low level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? *Radiat. Res.* 148: 2-21. <https://doi.org/10.2307/3579533>
- Xu D. P., Y. Li, X. Meng, T. Zhou, Y. Zhou, J. Zheng, J. J. Zhang and H. B. Li. 2017. Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. *Int. J. Mol. Sci.* 18: 96. DOI: 10.3390/ijms18010096.
- Zhang, Q. M., M. Tokiwa, T. Doi, T. Nakahara, P. W. Chang, N. Nakamura, M. Hori, J. Miyakoshi and S. Yonei. 2003. Strong static magnetic field and the induction of mutations through elevated production of reactive oxygen species in *Escherichia coli* soxR. *Int. J. Radiat. Biol.* 79: 281-286. DOI: 10.1080/0955300031000096289
- Zhang, D., Y. Zhang, B. Zhu, H. Zhang, Y. Sun and C. Sun. 2017. Resveratrol may reverse the effects of long-term occupational exposure to electromagnetic fields on workers of a power plant. *Oncotarget*. 8: 47497–47506. DOI: 10.18632/oncotarget.17668

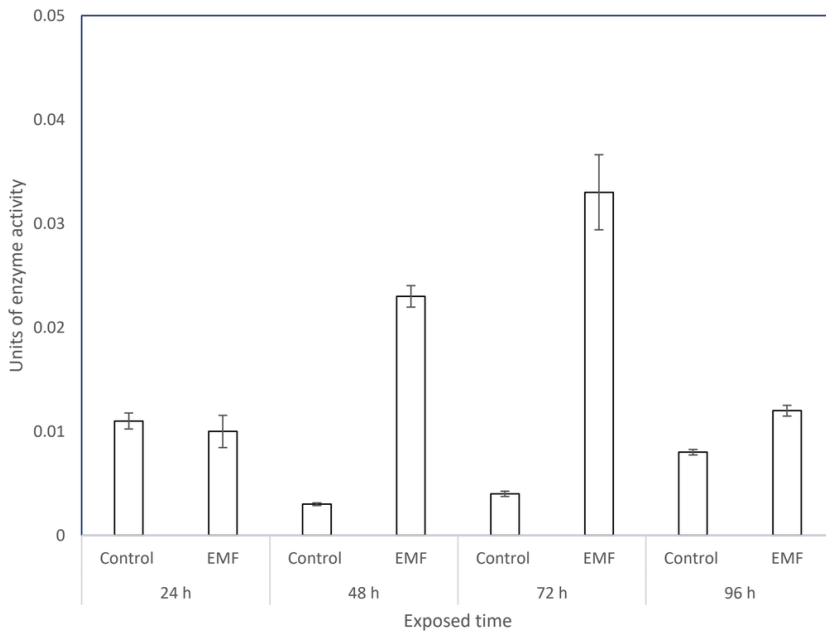


Figure 1. Effect of ELF-EMFs on APX activity in leaf extracts of tobacco seedlings. A significant increased APX activity was observed at 48 h, 72 h, and 96 h of continuous exposure of ELF-EMFs at 60 Hz and 2.0 mT, as compared with sham-exposed controls ($p < 0.05$). Bars represent grouped arithmetical means \pm standard error.

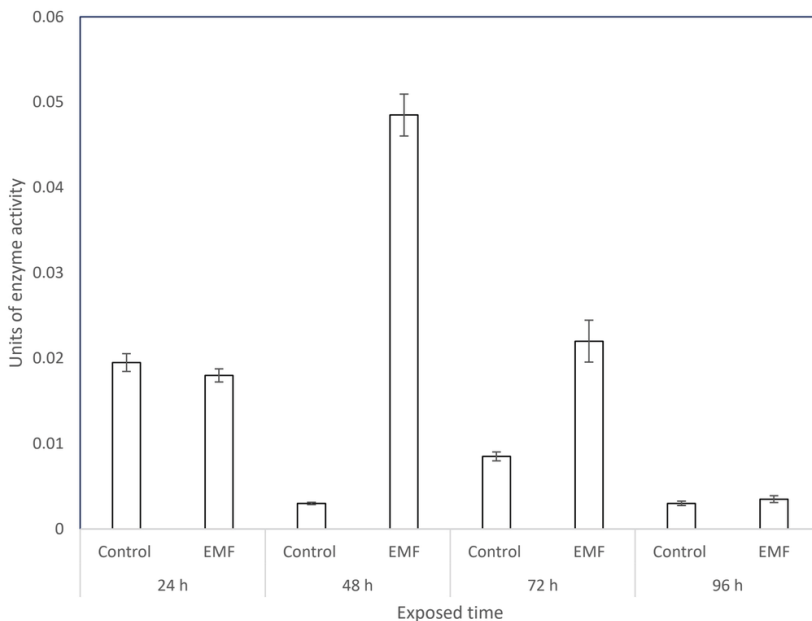


Figure 2. Effect of ELF-EMFs on APX activity values in root extracts of tobacco seedlings. APX activity increased at 48 h and 72 h of continuous exposure of ELF-EMFs at 60 Hz and 2.0 mT ($p < 0.05$) but no difference was found for 24 h and 96 h exposure conditions, as compared with sham-exposed cultures. Bars represent grouped arithmetical means \pm standard error.

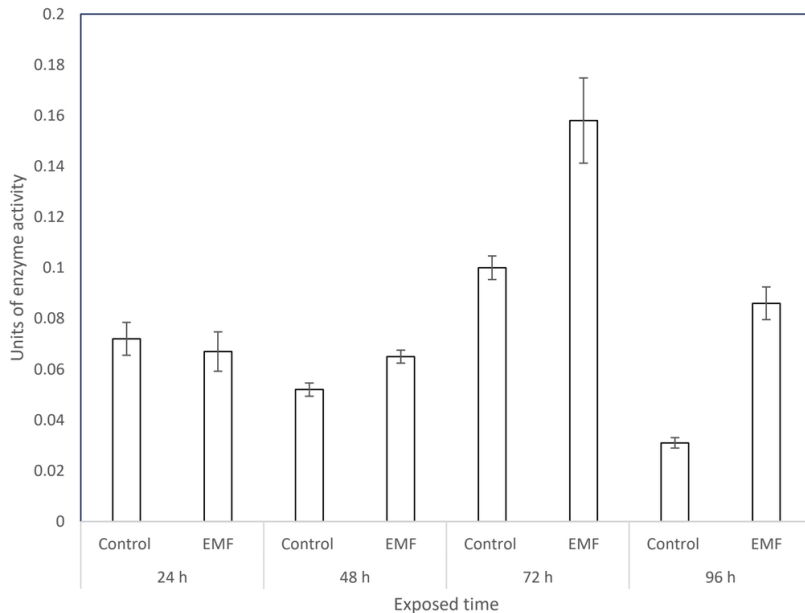


Figure 3. Effect of ELF-EMFs on the CAT enzyme activity in leaf extracts of tobacco seedlings. A statistically ($p < 0.05$) significant increase in CAT activity was observed at 48 h, 72 h, and 96 h of ELF-EMFs exposure. We did not observe differences at 24 h of ELF-EMFs exposure, as compared with control cultures. Bars represent grouped arithmetical means \pm standard error.

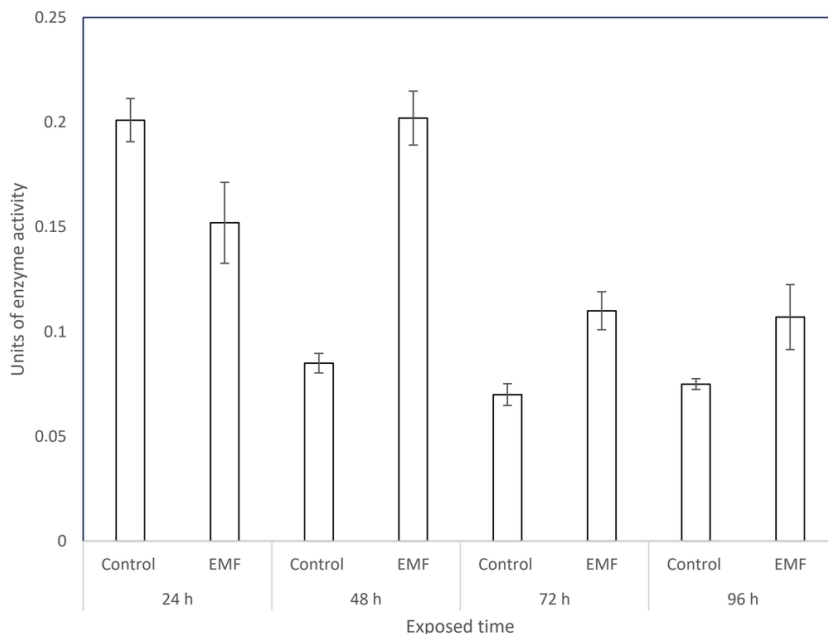


Figure 4. Effect of ELF-EMFs on the CAT enzyme activity in root extracts of tobacco seedlings. A statistically ($p < 0.05$) significant increase in CAT activity was observed at 48 h, 72 h, and 96 h of ELF-EMFs exposure. We did not observe differences at 24 h of ELF-EMFs exposure, as compared with control cultures. Bars represent grouped arithmetical means \pm standard error.

JOSÉ WEVERTON ALMEIDA-BEZERRA: Possui graduação em Ciências Biológicas (Licenciatura) pela Universidade Regional do Cariri - URCA (2017), especialização em Microbiologia pela Faculdade de Venda Nova do Imigrante - FAVENI (2020), mestrado (2020) e doutorado (2023) em Biologia Vegetal pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, com ênfase em Botânica Aplicada e Etnobotânica. Atualmente é pesquisador de pós-doutorado no Departamento de Química Biológica (PPQB) da Universidade Regional do Cariri - URCA. Foi listado no ranking AD Scientific Index (2024) como um dos principais pesquisadores (25º lugar) da Universidade Regional do Cariri. O Dr. Almeida-Bezerra atuou como professor no programa de Ciências Biológicas da URCA, Campus Missão Velha, ministrando disciplinas como Microbiologia, Parasitologia, Tese I, Tese II e Entomologia. Além disso, atuou como docente no Departamento de Ciências Biológicas do Programa de Residência Multiprofissional em Saúde Pública da URCA. Integra as equipes de pesquisa do Laboratório de Micologia Aplicada do Cariri (LMAC) e do Laboratório de Microbiologia e Biologia Molecular (LMBM), ambos da URCA. Sua especialidade é investigar as atividades biológicas de produtos naturais e sintéticos contra agentes etiológicos de doenças infecciosas e parasitárias. Além disso, é revisor ad hoc de diversos periódicos, como *Antibiotics-Basel* (ISSN: 2079-6382; IF: 5.222) e *Applied Sciences* (ISSN: 2076-3417; IF: 2.835).

LUCAS YURE SANTOS DA SILVA: Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Regional do Cariri (URCA), onde também concluiu o mestrado em Química Biológica. Atualmente cursa doutorado na mesma área, com foco em pesquisa farmacológica pré-clínica de produtos naturais no Laboratório de Farmacologia e Química Molecular (LFQM). Sua trajetória acadêmica tem sido marcada pelo desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas à compreensão dos mecanismos de ação de compostos naturais com potencial terapêutico, contribuindo para o avanço do conhecimento em farmacologia. É revisor do periódico *Chemistry & Biodiversity* (ISSN: 1612-1880; IF: 2.3).

A

Água 20, 22, 24, 27, 57, 103, 104, 105
Aprendizagem 98, 100, 101, 107, 108, 109
Atividade antibacteriana 37, 38

B

Biodiversidade 3, 21, 27, 28, 47, 58, 84, 85, 86, 95
Bioprospecção 85, 86, 95

C

Caracterização fitossociológica 20, 22
Citrus bergamia 29, 30, 31, 32, 36, 37, 40, 41, 42, 43, 44, 45
Composição química 1, 3, 5, 6, 7, 40, 41
Compostos bioativos 30, 33, 41, 86, 90
Comunicação 93, 100

E

Educação 21, 28, 100, 106, 109
Ensino de ciências 99, 100, 108, 109
Ensino fundamental I 98, 102, 103, 106, 108
Enzimas 54
Etnoentomologia 85, 87, 88

F

Família asteraceae 1
Fevereiro 23, 32
Fisiopatologia 46, 48
Fitoquímica 2, 3, 4, 30
Fitoterapia 7, 30, 31, 32, 43
Formas terapêuticas 84, 93

I

Insetos 35, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 99, 102, 103, 107

L

Laboratórios de pesquisa 98, 99, 102

M

Medicina tradicional 84, 85, 86, 87

P

Pirexia 46, 47, 58

Plantas medicinais 1, 2, 3, 4, 6, 7, 30, 42, 86

Produtos naturais 7, 30, 31, 40, 41, 84, 85, 90, 138

R

Recursos hídricos 112

Resposta imune 47

Restauração ecológica 21, 28

Rhizophora mangle 20, 21, 22, 23, 25

T

Termorregulação 49, 50

V

Vegetação 20, 21, 22

Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br