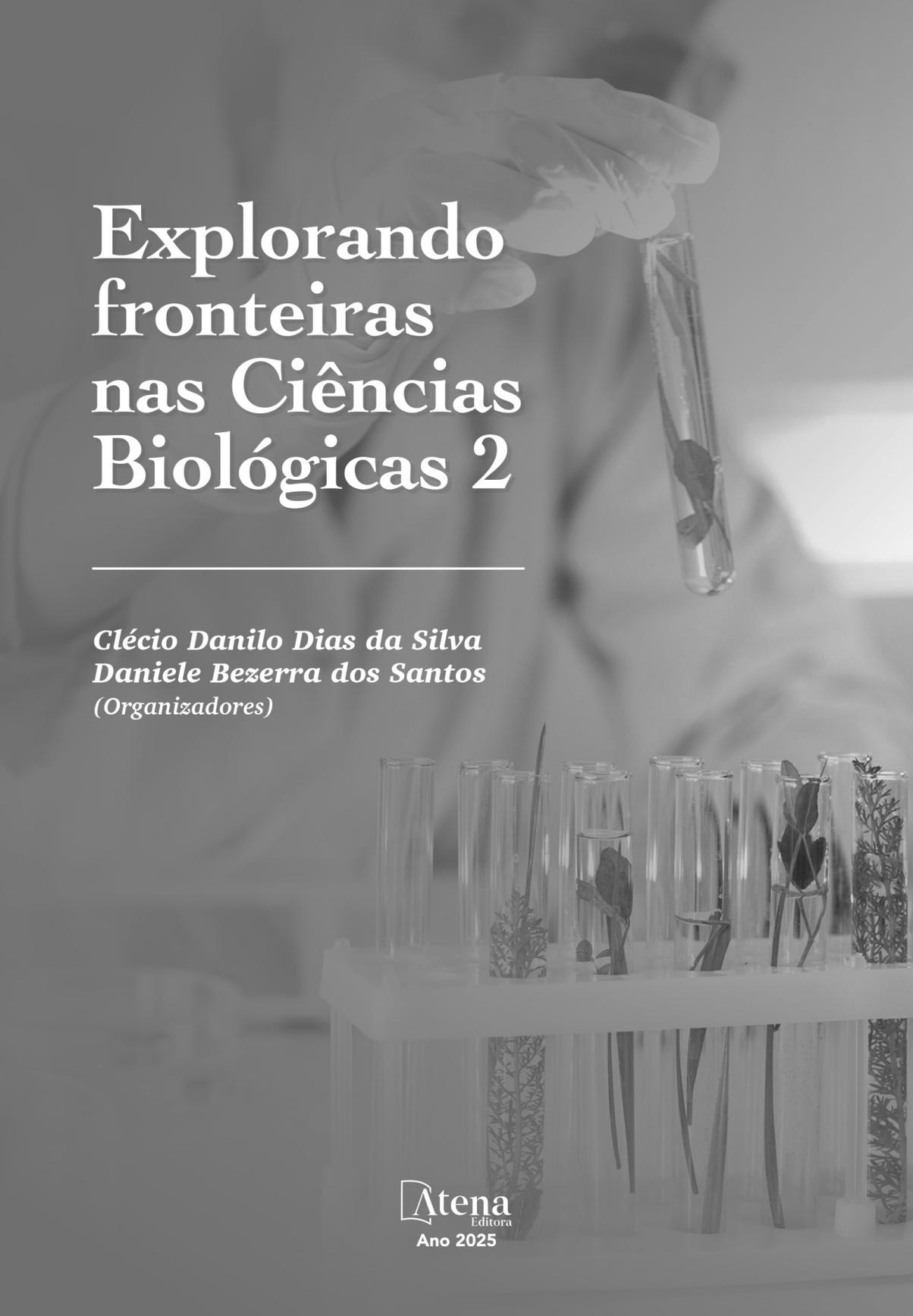


Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas 2

Clécio Danilo Dias da Silva
Daniele Bezerra dos Santos
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2025



Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas 2

Clécio Danilo Dias da Silva
Daniele Bezerra dos Santos
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2025

Editora chefeProf^a Dr^a 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 Federal 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 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Clécio Danilo Dias da Silva
 Daniele Bezerra dos Santos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E96	<p>Explorando fronteiras nas ciências biológicas 2 / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Daniele Bezerra dos Santos. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3089-6 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.896252002</p> <p>1. Ciências biológicas. I. Silva, Clécio Danilo Dias da (Organizador). II. Santos, Daniele Bezerra dos (Organizadora). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">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.

As investigações científicas no campo das Ciências Biológicas desempenham um papel estratégico na ampliação do conhecimento acerca dos fenômenos da vida, abrangendo desde mecanismos celulares e moleculares até complexas interações ecológicas em distintos níveis de organização biológica. Os avanços obtidos em pesquisas dessa natureza têm gerado inestimáveis contribuições para a promoção da saúde pública, conservação ambiental, desenvolvimento biotecnológico e aprimoramento de práticas agroindustriais. Esse campo do saber, caracterizado por sua marcante interdisciplinaridade, permite integrar conhecimentos provenientes das mais diversas áreas científicas, tais como bioquímica, genética, ecologia, fisiologia e biotecnologia, configurando-se como um espaço fértil para a geração de soluções inovadoras frente aos desafios contemporâneos, incluindo crises ambientais e demandas por sustentabilidade.

O presente e-Book, intitulado *“Explorando Fronteiras nas Ciências Biológicas 2”*, constitui uma coletânea de reflexões, avanços científicos e estudos de caso em diferentes vertentes das Ciências Biológicas, objetivando fornecer subsídios teóricos e práticos para o público acadêmico, incluindo estudantes, pesquisadores e docentes, além de profissionais interessados em explorar novas perspectivas científicas.

A estrutura da obra foi planejada de forma a promover uma abordagem integrada, abordando tópicos que vão desde os processos fisiológicos fundamentais em plantas até questões emergentes relacionadas à sustentabilidade e inovação tecnológica. Questões críticas sobre saúde pública, como doenças parasitárias e resistência microbiana, também são exploradas com profundidade, evidenciando a relevância desse campo para o bem-estar da sociedade contemporânea.

Ao proporcionar uma visão abrangente e crítica em temas biológicos essenciais, esta obra busca não apenas disseminar o conhecimento científico, mas também incentivar reflexões acerca da aplicação desse saber na construção de um futuro sustentável, equilibrado e tecnologicamente avançado.

Assim, espera-se que este material sirva como um instrumento para fomentar novas investigações e discussões acadêmicas, fortalecendo o compromisso científico com a geração de soluções que beneficiem a sociedade e o ambiente.

Clécio Danilo Dias da Silva
Daniele Bezerra dos Santos

CAPÍTULO 1 1**FISIOLOGIA DO ESTRESSE EM SEMENTES DE ANGIOSPERMAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Thalisson Johann Michelin de Oliveira
Jessica Corrêa Albuquerque Medeiros
Vitor Resende do Nascimento
Elaine Patricia Zandonadi Haber
Luciana Yanina Esther Chavez
Tamirys Marcelina da Silva
Dayana Castilho dos Santos Ferreira
Glauco André dos Santos Nogueira
Ana Ecídia de Araújo Brito
Dayse Gonzaga Braga
Joze Melisa Nunes de Freitas
Cândido Ferreira de Oliveira Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8962520021>

CAPÍTULO 225**APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE VON BERTALANFFY PARA EVALUAR EL CRECIMIENTO DE *Macrobrachium rosenbergii* EN CULTIVO SEMI-INTENSIVO EN LA ESTACIÓN DE BIOECOLOGÍA PRODUCTIVA DE SAN JUAN DE CURUMUY, PIURA-PERÚ**

A. Salgado-Ismodes
A. Salgado-Leu

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8962520022>

CAPÍTULO 333**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS SOROLÓGICOS PARA DETECÇÃO DE ANTICORPOS ANTI-*Toxoplasma gondii* EM GALINHAS CAIPIRAS**

Letícia Ferreira Torrente
Natália Domann
Stéfanne Rodrigues Rezende Ferreira
Edmar Gonçalves Pereira Filho
Hanstter Hallison Alves Rezende

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8962520023>

CAPÍTULO 4 41**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE AMEBICIDA DE DESINFETANTES DOMÉSTICOS EM *Acanthamoeba* spp**

Júlia Batista Dornelas
Stéfanne Rodrigues Rezende Ferreira
Edmar Gonçalves Pereira Filho
Maríllia Lima Costa
Hanstter Hallison Alves Rezende

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8962520024>

CAPÍTULO 548

**A SERVITIZAÇÃO E A DIGITALIZAÇÃO NA LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS:
CAMINHOS PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL E INOVADORA**

Priscila Carvalho Marques

Lucas Leal Perez

Dener Kisner Borges

Andrei Gomez Caetano

Rafaela Martins Kaist

Leonardo Betemps Kontz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8962520025>

SOBRE OS ORGANIZADORES53

ÍNDICE REMISSIVO54

CAPÍTULO 1

FISIOLOGIA DO ESTRESSE EM SEMENTES DE ANGIOSPERMAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Data de submissão: 04/11/2024

Data de aceite: 05/02/2025

Thalisson Johann Michelin de Oliveira

Institution: USP
São Paulo - SP
<http://lattes.cnpq.br/0584202669056603>

Jessica Corrêa Albuquerque Medeiros

Institution: UFRA
Belém - PA
<https://lattes.cnpq.br/5317426556582050>

Vitor Resende do Nascimento

Institution: UFPA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/1213706920786763>

Elaine Patricia Zandonadi Haber

Institution: Senar
City: Belém/PA
<http://lattes.cnpq.br/1441048367692032>

Luciana Yanina Esther Chavez

Institution: UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/2100624727740730>

Tamirys Marcelina da Silva

Institution: UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/6360196015640971>

Dayana Castilho dos Santos Ferreira

Institution: UFRA
Belém – PA
<https://lattes.cnpq.br/0496184248845616>

Glauco André dos Santos Nogueira

Institution: UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/1909328483731143>

Ana Ecídia de Araújo Brito

Institution: UFRA
Belém – PA
<https://lattes.cnpq.br/5637991471728377>

Dayse Gonzaga Braga

Institution: UFPA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/7007918948125971>

Joze Melisa Nunes de Freitas

Institution: UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/4808397578671216>

Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Institution: UFRA
Belém – PA
<http://lattes.cnpq.br/0327663489224028>

RESUMO: O estudo aborda a fisiologia e bioquímica das sementes frente a estressores ambientais, visando identificar estratégias para mitigação. As sementes são fundamentais para a vida vegetal e têm um papel crucial na produção de alimentos e materiais essenciais. A exposição a estressores ambientais representa uma ameaça significativa para as sementes, afetando sua sobrevivência e capacidade reprodutiva. Em regiões agrícolas brasileiras com alta salinidade devido a atividades industriais e mineradoras, há necessidade de sementes tolerantes a esses estressores. O estudo realizou uma busca sistemática de literatura de 2013 a 2023, focando em artigos técnicos e científicos sobre sementes e estressores ambientais. Os resultados destacam os impactos dos estressores no metabolismo das sementes, incluindo alterações no crescimento do eixo embrionário e na camada do endosperma, bem como modificações na permeabilidade da membrana celular e estresse oxidativo. O estudo também aborda a importância do manejo adequado da água, sendo a deficiência hídrica um fator limitante para a germinação de sementes não dormentes.

PHYSIOLOGY OF STRESS IN ANGIOSPERM SEEDS: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: This study aims to understand the physiology and biochemistry of seeds when exposed to environmental stressors and to identify potential mitigation strategies. Seeds are fundamental to plant life and play a crucial role in the production of food and essential materials. Exposure to environmental stressors poses a significant threat to seeds, affecting their survival and reproductive capacity. In agricultural regions of Brazil with high salinity due to industrial and mining activities, there is a need for seeds tolerant to these stressors. The study conducted a systematic literature review from 2013 to 2023, focusing on technical and scientific articles on seeds and environmental stressors. The results highlight the impacts of stressors on seed metabolism, including changes in embryo axis growth and the endosperm layer, as well as modifications in cell membrane permeability and oxidative stress. The study also emphasizes the importance of proper water management, with water deficiency being a limiting factor for the germination of non-dormant seeds.

KEYWORDS: Germination; Resilience; Biochemical responses; Salinity tolerance.

1 | INTRODUÇÃO

As sementes representam a base da vida vegetal e desempenham um papel essencial na produção de alimentos e matérias-primas em todo o mundo (DORIGON *et al*, 2020). Elas são o meio de propagação e ponto de partida das plantas, representando a base da agricultura e da produção de alimentos em todo o mundo (AMORIM *et al*, 2020). Além disso, as sementes também desempenham um papel crucial na obtenção de matérias-primas essenciais, como fibras, óleos e madeira, que sustentam uma variedade de indústrias e atividades econômicas (DORIGON *et al*, 2020).

A exposição de sementes a estresses ambientais apresenta uma ameaça significativa à fisiologia da futura plântula e planta adulta, impactando sua sobrevivência e capacidade reprodutiva (AMORIM *et al*, 2020; DORIGON *et al*, 2020). Compreender os efeitos de efeitos estressantes nas sementes é crucial para tomada de decisões do tecnólogo de sementes e agrônomo para implementar estratégias e mitigar os impactos prejudiciais no

crescimento das sementes e na biodiversidade (SENEVIRATNE *et al*, 2019).

Muitas regiões agrícolas brasileiras possuem solos com alta salinidade, necessitando de sementes moderadamente tolerante à este fator estressante (AYERS e WESTCOT, 1999), ainda assim, pode ser que a viabilidade e/ ou vitalidade da semente caia drasticamente com uma salinidade elevada pois ela provoca modificações nos aspectos fisiológicos e bioquímicos (BEZERRA *et al*, 2014).

O avanço e intensificação de atividades industriais e mineradoras tem gerado uma série de impactos sobre ecossistemas naturais (KRZEMIEŃ *et al*, 2023), combinados ao uso inadequados de agroquímicos e o descarte errôneo de produtos eletrônicos (DATTA *et al*, 2023; DANISH *et al*, 2023), contribuem para contaminação de solos e corpos d'água com uma diversidade de elementos químicos, entre eles os metais pesados.

A contaminação ambiental por metais pesados representa uma preocupação crescente em todo o mundo. A exposição de sementes a esses elementos pode trazer sérias consequências e dificuldades para o estabelecimento de uma nova planta (SENEVIRATNE *et al*, 2019). Para compreender os efeitos da exposição a metais pesados na fisiologia das sementes, é necessário examinar os processos que ocorrem no seu interior durante a germinação e o crescimento inicial da planta (PAWLAK *et al*, 2009).

O uso de mitigadores em sementes são estratégias promissoras para melhorar a tolerância das plantas a condições adversas de estresse ambiental. Podendo ser com o uso de fitohormônios, bactérias promotoras de crescimento (PGPR) e aplicação de reguladores de crescimentos artificiais, representam uma estratégia sustentável para otimizar o desempenho das sementes e plântulas em ambientes menos propícios (SOARES *et al*, 2020; DARTORA *et al*, 2020; HAN *et al*, 2017; WU *et al*, 2019).

Diante do exposto, esta revisão bibliográfica teve o objetivo de entender a fisiologia e bioquímica de sementes quando expostas a situações de estresses ambientais e identificar possíveis mitigadores a serem utilizados.

2 | METODOLOGIA

Este estudo tentou conduzir buscas sistemáticas pelos termos “semente e estresses abióticos” com alguns bancos de dados para estudos dos últimos 10 anos, sendo referente de janeiro de 2013 a novembro de 2023. Os principais bancos de dados foram Web of Science, ScienceDirect e Scopus. As buscas foram entregues nas palavras-chave, resumo e título dos artigos.

Os resultados caíram em três categorias: artigos técnicos, publicações científicas e relatórios sobre temas especiais publicado por uma determinada organização. Artigos que têm um tema combinado como fisiologia de sementes, estresses abióticos, metais pesados e salinidade, foram encontrados em números significativos, o foco estava em artigos escritos depois de 2013, entretanto alguns estudos que serviram de base e foram

pioneiros nesta área de pesquisa foram citados, devido a sua total relevância.

A revisão foi dividida em duas seções. O passo inicial foi reunir todos os artigos relevantes com base nos termos da pesquisa. Os títulos e resumos dos artigos foram examinados a fim de selecionar aqueles que foram mais relevantes para fisiologia de sementes e estresses abióticos. A segunda etapa foi composta por um exame mais detalhado de todos os artigos escolhidos e seleção dos que seriam utilizados ou não nesta presente monografia.

3 | DESENVOLVIMENTO

3.1 Estresses abióticos

Foi verificado na literatura que fatores estressantes tem fatores comum com as sementes, onde eles afetam o metabolismo enzimático bloqueando o crescimento do eixo embrionário (VENDRUSCOLO *et al*, 2016), atuando nas etapas de ativação do crescimento vegetativo do embrião, enfraquecendo a camada do endosperma que envolve o embrião e como consequência restringe o crescimento do endosperma (COSTA, 2020; SOUSA *et al*, 2020). Tais fatores podem ser decorrentes do estímulo para bloqueio da síntese de enzimas hidrolíticas (COSTA, 2020), que degradam polissacarídeos a monossacarídeos em que a cadeia de carbono é mais simples facilitando sua metabolização e, posteriormente, síntese de energia para as etapas germinativas, e como esse processo é bloqueado pelo metal pesado, há a consequência de menor germinação (TAIZ *et al*, 2017; SOUSA *et al*, 2020). Além disso, o estresse podem alterar as propriedades de permeabilização de seleção da membrana celular ocasionando uma degradação acelerada de nutrientes estocados no endosperma (SHAFIQ *et al*, 2008) e na homeostase celular acarretando um estresse oxidativo incluindo alterações nas enzimas do sistema de defesa antioxidante (PATEL *et al*, 2013), diminuição da hidrólise do amido e efeito da atividade de amilases (COSTA, 2020), prejudicando o fornecimento de açúcar para eixos embrionários em desenvolvimento (MITTAL *et al*, 2015).

Em suma, esses estresses prejudicam a reativação do metabolismo e do crescimento embrionário, influenciando diretamente o reinício da transcrição do genoma. Isso acarreta impactos significativos na germinação, interferindo na sequência diferenciada de síntese de enzimas oxidativas e no restabelecimento dos processos bioquímicos fundamentais para o crescimento vegetativo e o desenvolvimento (FELIX *et al*, 2018; MARCOS FILHO, 2015).

Abaixo foi abordado de forma mais específica os efeitos de cada estresse ambiental na semente, conforme visto na literatura:

3.1.1 Estresse hídrico

O estresse hídrico é referente aos estresses que as plantas sofrem com a água, podendo ser eles por excesso (alagamento) ou pela falta, denominado de déficit hídrico

(MUNNS, 2008). Os estresses provocados pelo excesso de água normalmente estão relacionados a quantidade insuficiente de oxigênio (ZHOU *et al*, 2020), e sabe-se que a respiração é crucial para a germinação das sementes, contudo, é mais comumente encontrado relatos em campo e na literatura a respeito da falta de água, portanto neste estudo será abordado ao déficit hídrico.

A deficiência hídrica geralmente é considerada o fator limitante da germinação de sementes não dormentes, afetando a porcentagem, a velocidade e a uniformidade de germinação, já que a água é responsável pelo amolecimento do tegumento, intensificação da troca gasosa e velocidade de respiração, indução na síntese de enzimas e hormônios, e contribui na regularidade da digestão, translocação e assimilação das reservas e crescimentos subsequente (ZHOU *et al*, 2020). Ou seja, quando expostas a falta de água, a fase de embebição e absorção de água é encurtada (IBRAHIM, 2016).

Podemos ver no estudo de Saux *et al* (2020) que a germinação das sementes é parcialmente inibida a um valor de potencial hídrico de -0,2 MPa, já que a germinação final não excedeu 70%, e potenciais hídricos inferiores a -0,4 MPa inibiram totalmente a germinação dessas sementes (figura 1).

O motivo da diminuição da germinação é devido as possíveis alterações na mobilização das reservas armazenadas e na desorganização estrutural das proteínas e enzimas (MARCOS FILHO, 2015; IBRAHIM, 2016). As macromoléculas possuem posição e sítios de sorção com afinidades diferentes, a aplicação de potenciais hídricos de -0,2 e -0,4 no estudo de Saux *et al* (2020) afetaram possivelmente o conteúdo de água do tipo 5, onde as sementes germinam, mas não de forma tão severa a ponto de zerar a germinação das sementes, entretanto potenciais hídricos mais severos afetaram outros tipos de água presente nas macromoléculas das sementes, inibindo totalmente sua germinação.

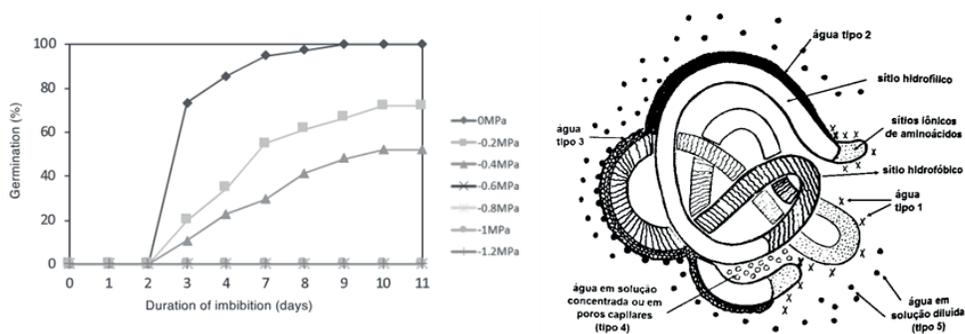


Figura 1. Efeito do estresse hídrico na germinação a 20°C; e modelo conceitual da ligação da água em uma proteína, indicando cinco tipos de proteínas.

Fonte: Saux *et al* (2020) e Marcos Filho (2015)

3.1.2 Salinidade

O estresse salino é muito similar ao estresse hídrico por falta d'água, pois ambos restringem água a planta (MUNNS, 2002; MUNNS, 2008), a ausência da água causa modificações bioquímicas, fisiológicas e moleculares (MARINHO *et al*, 2016). Uma dessas características é a diminuição da diferença de potencial hídrico (FERNANDES *et al*, 2016) podendo trazer como consequência até a morte da vida vegetal, já que dificulta e até impede a absorção de água pela semente ou plântula (SHAO *et al*, 2008).

Conforme visto na figura abaixo, retirada do estudo de Ibrahim, 2016, quanto mais se aumenta a concentração de sal, mais diminui a porcentagem de germinação e aumenta o tempo para que a semente germine, ou seja, existe uma relação generalizada entre a porcentagem de germinação e o tempo de germinação após a adição de água em diferentes sais níveis.

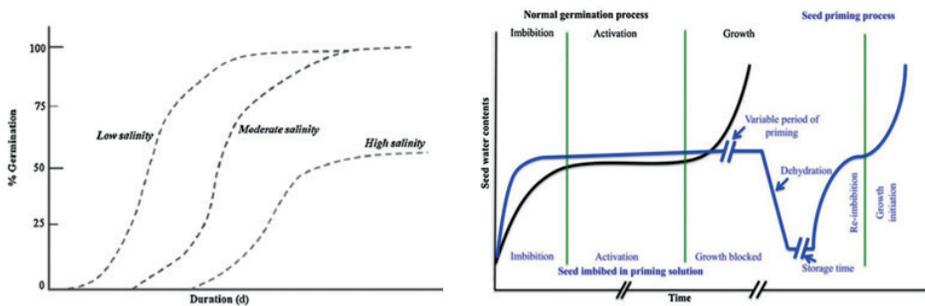


Figura 2. Relação entre taxa de germinação e tempo após a semeadura em diferentes níveis de salinidade; diagrama esquemático da germinação normal e processo de preparação de sementes.

Fonte: Ibrahim (2016).

Ainda pode-se ver nesta figura que quando uma semente seca é mantida em água, o processo de germinação de sementes não dormentes ocorre em três fases: (I) embebição, (II) fase de atraso e (III) protrusão da radícula através da testa. Conforme o autor Ibrahim (2016), é devido ao fornecimento de a água para a semente ser controlada durante a preparação da semente, logo a umidade da semente está em um nível abaixo do necessário para a germinação saudável.

A germinação da maioria das culturas falha em solos salinos, e quando associada a ambientes quentes e secos, promove uma alta evapotranspiração resultando em perda de água (SHAO *et al*, 2008). Isso resulta em acúmulo de sal ao redor das raízes das plantas, e este sal interfere na capacidade da planta de absorver água (IBRAHIM, 2016). Outro fato interessante é que, normalmente, as técnicas de cultivo e plantio das sementes é serem semeadas na camada superior de 10 cm do solo (para entrada de luz na forma vermelho ativa), e conforme estudos de Medeiros *et al* (2017), esta camada é mais salina que as camadas inferiores.

A salinidade pode afetar a semente e o estabelecimento do estande através do estresse osmótico, fato normalmente relacionado a diminuição da atuação hídrica (potencial hídrico) (MUNNS, 2008; MEDEIROS *et al*, 2017), o que acarreta uma menor absorção de água durante a embebição resultando o aumento do potencial osmótico externo. A embebição é uma difusão provocada pela atração entre moléculas de água e a superfície matricial através da diferença de potencial hídrico dos tecidos da semente e substrato fornecedor de água (MARCO FILHO, 2015).

Na figura abaixo, verifica-se que a porcentagem de sementes de milho em exposição a diferentes concentrações salinas, diminuem progressivamente conforme aumento salino, os menores percentuais de germinação ocorrem em concentrações de 75 e 100 mM. O autor Alves *et al* (2022), ainda destaca que a interação entre concentrações salinas e temperaturas afetam significativamente o desenvolvimento de plântulas de milho (figura 3).

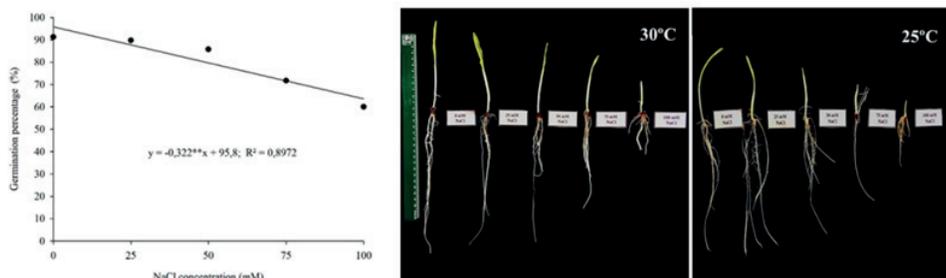


Figura 3. Porcentagem de germinação de semente de milho submetidas a diferentes concentrações salinas; Comprimentos de mudas de milho submetidas a diferentes concentrações salinas e temperaturas.

Fonte: Alves *et al*, 2022.

Logo, a salinidade pode atrasar ou impedir a germinação, há também alterações na mobilização das reservas armazenadas e tendo consequência em casos mais severos, a desorganização estrutural das proteínas e enzimas (IBRAHIM, 2016).

A salinidade promove a potencialização do estresse oxidativo através da produção acentuada de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), gerando danos às organelas celulares, macromoléculas e a membrana plasmática. A produção de Espécies reativas de oxigênio (ROS) podem ser radicais hidroxila, oxigênio singleto e peróxido de hidrogênio, estes são subprodutos do metabolismo celular (IBRAHIM, 2016; ALVES *et al*, 2022; BERWAL *et al*, 2018). Este assunto será discutido mais a frente no tópico de sistemas de defesa antioxidante.

3.1.3 Metais pesados

Ao se estudar metais pesados, deve-se levar em conta três fatores, a toxicidade, concentração e suscetibilidade das espécies. Metais podem interferir nos principais

processos enzimáticos e interromper as atividades celulares, prejudicando à germinação, crescimento e desenvolvimento da plântula (AHMED *et al*, 2019; SRUTHI *et al*, 2019; SENEVIRATNE *et al*, 2019).

A concentração de metais pesados no ambiente tem efeitos tóxicos significativos nas funções da semente (SOUSA *et al*, 2020). Conforme visto na literatura, concentrações mais altas geralmente resultam em maiores danos, afetando a viabilidade das sementes, as taxas de germinação e a saúde geral da futura plântula (SENEVIRATNE *et al*, 2019). Diferentes espécies de sementes apresentam níveis variados de tolerância à exposição a metais pesados, já que algumas espécies possuem mecanismos naturais de resistência, incluindo o sequestro de metais, enquanto outras são mais suscetíveis à toxicidade induzida por esses metais pesados (AHMED *et al*, 2019).

Antes de discutir os possíveis efeitos causados pelos metais pesados nas sementes, é importante entender como esses elementos podem entrar e se acumular no tecido das sementes. As sementes podem ter contato com o metal pesado quando ainda presas a planta-mãe, ou seja, o contato vai ser de forma indireta, por meio de transportes dos vasos condutores da raiz (órgão em contato direto com o metal) até o fruto, e do fruto para a semente por transportes simplásticos e apoplásticos (SRUTHI *et al*, 2019; GLÓRIA & GUERREIRO *et al*, 2022). Outra forma é através de contato direto, onde essas sementes estão desconectadas da planta mãe e dispostas no solo contaminado, onde seu tegumento está em contato com os colóides do solo e aos metais pesados, e nisso, a entrada do metal pesado na semente pode ocorrer na solução aquosa na embebição da semente pelo hilo (AHMED *et al*, 2019; SENEVIRATNE *et al*, 2019).

Explicado a forma de entrada do metal pesado na semente, comenta-se sobre os efeitos fisiológicos na mesma, indo desde a germinação até o crescimento e estabelecimento da plântula, comprometendo sua sobrevivência e futura capacidade reprodutiva (AHMED *et al*, 2019). Uma das primeiras respostas da semente é a prevenção da germinação, pois a presença de metais pesados no ambiente que circunda o tegumento da semente pode comprometer a absorção de água e a ativação dos mecanismos metabólicos envolvidos nesse processo, além de metais interferirem na síntese de enzimas essenciais para a retomada de crescimento do embrião das sementes (SOUSA *et al*, 2020; SENEVIRATNE *et al*, 2019).

Nas figuras 4 e 5, retiradas do estudo de Ahmed *et al* (2019), verifica-se a deposição de nanopartículas de óxido metálico na superfície das sementes de rabanete, pepino, tomate e alface, onde foram detectadas por análise de raios-x de energia dispersiva (EDX) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV) após o contato dessas sementes em uma solução aquosa de metais pesados (alumínio, cobre, titânio e zinco). A porcentagem em peso de diferentes elementos detectados nos espectros de EDX são mostradas em barras ao lado de cada espectro. Obviamente a superfície das sementes controle (sem contato com metal) não tinham nenhum sinal de metal pesado e que essa adsorção de

nanopartículas de metais pesados no tegumento das sementes causará toxicidade aos vegetais em cultivo, prejudicando a germinação, tempo de germinação, velocidade e até comprometimento das funções da futura plântula.

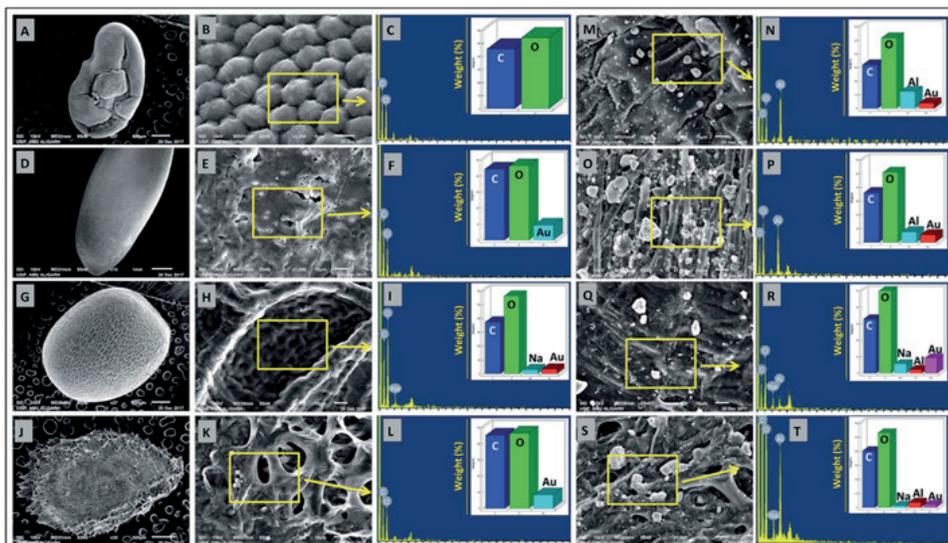


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de raios-x de energia dispersiva de sementes controles (EDX) de alfafa (A - C), pepino (D - F), rabanete (G - I) e tomate (J - L). Painéis (M ao T) mostram a adsorção de nanopartículas de alumínio e sua detecção por EDX na superfície de sementes de alfafa (M - N), pepino (O - P), rabanete (Q - R) e tomate (S - T) após exposição a alumínio. Os espectros EDX mostram picos metálicos e porcentagem em peso de diferentes elementos.

Fonte: Ahmed *et al.*, 2019.

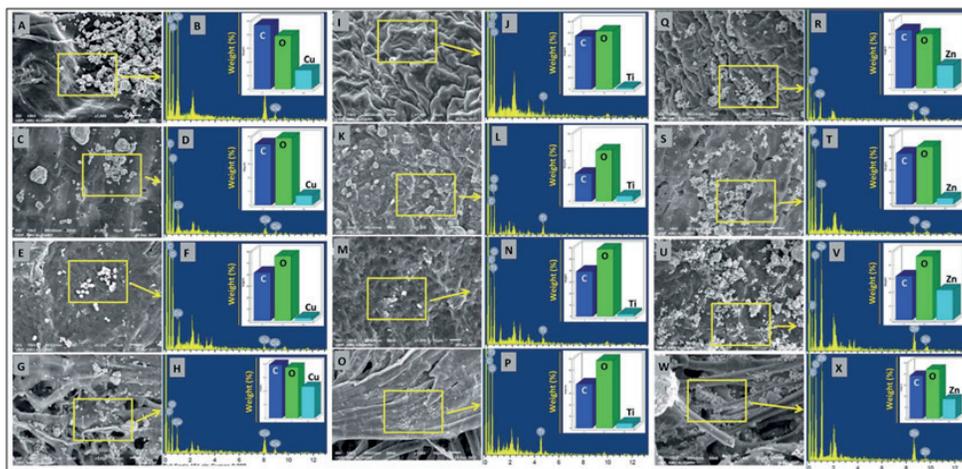


Figura 5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de raios-x de energia dispersiva de sementes controles (EDX) da adsorção de cobre e sua detecção por EDX na superfície de sementes de alfafa (A e B), pepino (C e D), rabanete (E e F) e tomate (G e H). Painéis (I - P) mostram a adsorção de titânio e sua detecção por EDX na superfície de alfafa (I e J), pepino (K e L), rabanete (M e N) e tomate (O e P) enquanto painéis (Q - X) mostram a adsorção de zinco e sua detecção por EDX na superfície de Alfafa (Q e R), pepino (S e T), rabanete (U e V) e Tomate (W e X). Os espectros EDX mostram picos metálicos e porcentagem em peso de diferentes elementos.

Fonte: Ahmed *et al.*, 2019.

Quando ocorre a germinação, a semente encontra outro problema, o crescimento das suas raízes primárias é afetado, essas estruturas são responsáveis pela absorção de água a ser utilizada na divisão e expansão celular, já que nessa fase a mesma se encontra com alta divisões mitóticas nas regiões do tecido meristemático, e com a presença desses metais há a interferência na atividade das células radiculares, prejudicando sua capacidade de absorção de água e nutrientes (SOUSA *et al*, 2020). Além do fato de que os metais pesados são substâncias destrutivas para a fotossíntese, eles estão envolvidos na desestabilização de enzimas, na oxidação do fotossistema II (PS II) e na interrupção da cadeia de transporte de elétrons e do metabolismo mineral (SENEVIRATNE *et al*, 2019; PAUL *et al*, 2017).

3.2 Sistemas de defesa

Sementes expostas a condições ambientais desfavoráveis sofrem estresse fisiológico, desencadeando respostas como ativação enzimática, produção de proteínas relacionadas ao estresse e alteração dos padrões de expressão gênica, como forma de superar e de se desenvolver a esses ambientes tóxicos, uma forma de adaptação (SANO *et al*, 2013).

Os sistemas de defesa variam conforme a espécie, sementes com mecanismos de tolerância aprimorados podem resistir melhor à exposição amenas, aumentando suas chances de sobrevivência a esses habitats contaminados por metais pesados, ou íons salinos em alta quantidade (SAUX *et al*, 2020; ZHANG *et al*, 2010; PAWLAK *et al*, 2009). Além disso, algumas plântulas têm a capacidade de se desenvolver e acumular metais pesados e íons salinos em seus tecidos, reduzindo assim seus efeitos tóxicos (AHMED *et al*, 2019; OLIVEIRA *et al*, 2013). A tolerância ao estresse é alcançada por desencadear muitas atividades relacionadas à germinação, como metabolismo energético aprimorado, mobilização precoce de reservas, embrião expansão e enfraquecimento do endosperma (SANO *et al*, 2013).

Neste estudo, os sistemas de defesas foram divididos em três partes, através dos reguladores osmóticos, do sistema de enzimas antioxidantes, e no aprimoramento de genes responsivos ao estresse.

3.2.1 Osmorreguladores

Sementes e plântulas sob estresse aumentam a atividade de muitas enzimas envolvido no metabolismo fotossintético e nitrogenado, sendo enzimas amilases, proteases e lipases, que interferem na mobilização de reservas armazenadas, essas enzimas são essenciais na quebra de macromoléculas para o desenvolvimento e crescimento do embrião que em situações amenas resultam na emergência precoce e elevada de plântulas (BAGHEL *et al*, 2016; ATAÍDE *et al*, 2016).

As plantas superam os efeitos osmóticos induzidos pela salinidade através da síntese e acúmulo de solutos orgânicos como prolina livre, glicina betaína, aminoácidos, sacarose, açúcares redutores e entre outros na região radicular, por um processo conhecido como ajuste osmótico em resposta à diminuição potencial hídrico externo (MUNNS *et al*, 2005). A prolina e glicina são aminoácidos que desempenham função na manutenção da homeostase celular através da regulação osmótica (SENEVIRATNE *et al*, 2019). Assim, o acúmulo de solutos orgânicos, como açúcares, promove a redução do potencial osmótico celular radicular, uma forma de possuir potencial maior que a do substrato, fazendo com que assim a água se mova do meio com menos potencial para maior potencial, superando à condição de estresse (BIJU *et al*, 2017).

Muitas das vezes os osmólitos trabalham em conjunto com o sistema de enzimas antioxidantes, como pode-se verificar no estudo de Biju *et al* (2017), que houve melhora na germinação das sementes de lentilha sob estresse hídrico através da regulação de osmólitos, enzimas hidrolíticas e do sistema de defesa antioxidante (figura 6).

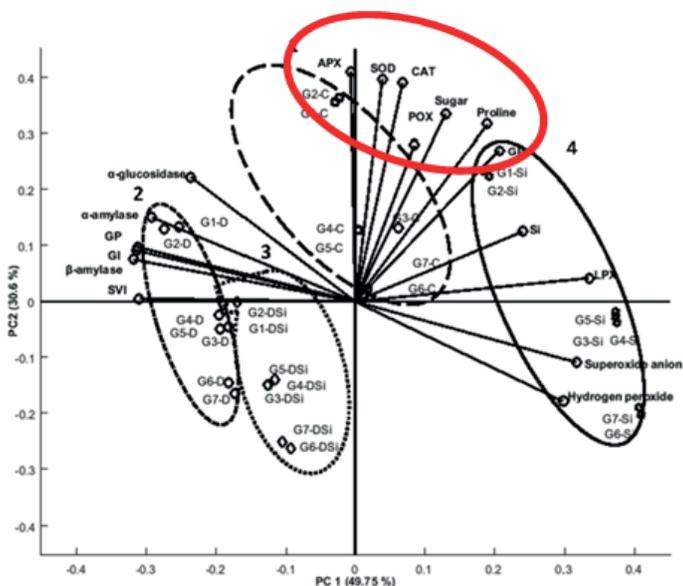


Figura 6. Análise multivariada PCA para características relacionadas à tolerância à seca como vetores no estresse hídrico de sementes de lentilhas.

Fonte: Biju *et al* (2017)

A osmorregulação pode ocorrer nas plântulas pela captação ativa de íons inorgânicos, com isso as sementes aliviam os efeitos adversos do estresse salino na germinação e no crescimento das plântulas. Com o desenvolvimento da raiz primária, semente agora na fase de plântula possui a capacidade de absorver e acumular K^+ e Ca_2^+ e diminuição do acúmulo de Na^+ e Cl^- , isso permita que o vegetal diminuía ainda mais o potencial osmótico radicular e aumente a absorção de água pela epiderme e pelos absorventes (BAGHEL *et al*, 2016; ALVES *et al*, 2015).

Consoante PANDEY *et al* (2020), o potássio desempenha um papel importante no equilíbrio do potencial e turgor da membrana, ativando enzimas e regulando a pressão osmótica nas células. Já o cálcio é um elemento vital para a estrutura da parede celular, alongamento celular e divisão celular (VAAHTERA *et al*, 2019). As respostas dos estudos destes autores comprovam o papel importante da osmose na regulação da absorção de nutrientes através da membrana celular e melhorando a absorção de água.

3.2.2 Ativação de sistemas de defesa antioxidantes

Outra estratégia de defesa adotada pelas sementes é o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, que são responsáveis por neutralizar as ROS e proteger as estruturas celulares contra o estresse oxidativo. Estudos de Saux *et al* (2020), Zhang *et al* (2010) e Pawlak *et al* (2009) demonstraram que as sementes expostas às concentrações elevadas de metais e a baixos potenciais hídricos, apresentam um aumento na atividade de enzimas como superóxido dismutase, catalase e glutathiona peroxidase.

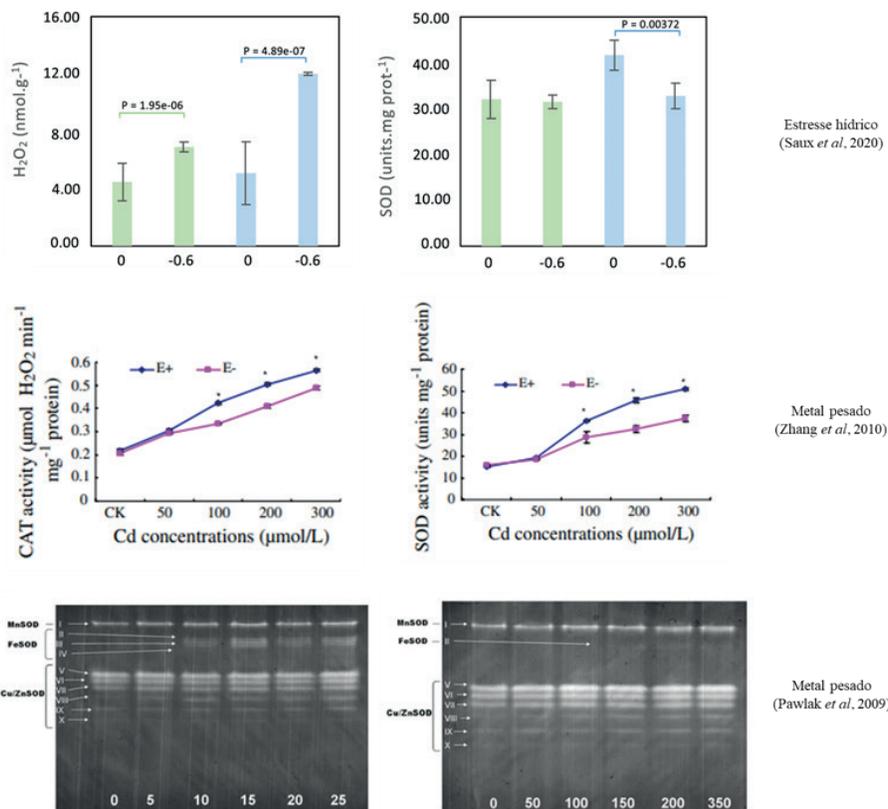


Figura 7. Efeito do estresse hídrico em sementes e respostas oxidativas de conteúdo de H_2O_2 e SOD. Variações na atividade da catalase e SOD por estresse a Cd (0, 50, 100, 200 e 300 $\mu\text{mol/L}$ CdCl_2). Padrão isoenzimático de SOD de raízes plântulas de soja tratadas por 48h com diferentes concentrações de Cd_2 (0-25 mg/l) e Pb_2 (0-30 mg/l).

Vale ressaltar que mesmo em condições normais, as plantas já possuem as enzimas antioxidantes e EROS, como os radicais hidroxila, o superóxido e o peróxido de hidrogênio, esses são subprodutos do metabolismo celular, no entanto, sob estresse condições, há um desequilíbrio entre a geração de EROS e enzimas responsáveis pela eliminação das células vegetais (BERWAL *et al*, 2018; XIE *et al*, 2019). As enzimas antioxidantes são a superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPOD) e compostos não enzimáticos (NATASHA *et al*, 2019).

O acúmulo excessivo de EROS pelos estresses ambientais pode levar a danos oxidativos nas estruturas celulares já que estes são altamente reativos, resultando na peroxidação de membranas lipídicas (ZHONG *et al*, 2020), degradação de pigmentos fotossintéticos de plântulas, degradação de proteínas, enzimas e ácidos nucleicos, resultando em alterações no metabolismo, viabilidade das sementes, impacto no estabelecimento das plântulas e até mesmo na morte das células, em casos mais severos (RAZA *et al*, 2022; SMITH *et al*, 2023).

A quantificação das enzimas antioxidantes é importante, pois assim como os osmorreguladores, são sinalizadoras de estresses, e que regulam a variedade de reações fisiológicas respostas, incluindo expressão genética e movimento estomático.

A peroxidação dos lipídios da membrana ocorre devido a EROS, e a peroxidação lipídica pode ser um dos fatores mais importantes que resultam na inibição da germinação das sementes, neste caso há a atuação das enzimas Peroxidases (PO). A peroxidação lipídica da membrana resulta no acúmulo de malondialdeído (MDA), e o conteúdo do MDA tende a aumentar com o aumento do estresse (SRUTHI *et al*, 2019; XIE *et al*, 2019; ZHONG *et al*, 2020).

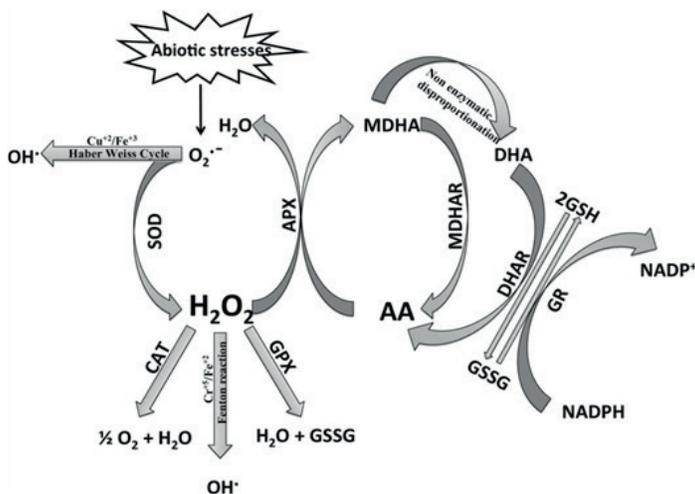


Figura 8. Geração de espécies reativas de oxigênio por estresses abióticos e seu mecanismo de eliminação por antioxidantes.

Fonte: Tuteja *et al.*, 2011.

A SOD constitui a primeira linha de defesa contra as EROS, fazendo parte do primeiro ajuste de tolerância das plantas ao estresse (BERWAL *et al*, 2018). Sua catalisação na dismutase do ânion superóxido ($O_2^{\cdot-}$), tem como produtos o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio (O_2), sendo a única enzima cuja atividade pode afetar a concentração celular de O_2 e H_2O_2 (XIE *et al*, 2019; RAZA *et al*, 2022). O aumento no conteúdo de H_2O_2 , fica intimamente ligado com a atividade da CAT e APX, as quais eliminam o H_2O_2 , mantendo assim, um balanço altamente otimizado das enzimas antioxidantes, de forma a reduzir o risco de danos oxidativos gerados pelo estresse, e pode apresentar respostas diferentes de acordo com o órgão, espécie e do metal causador do estresse (XIE *et al*, 2019).

A APX é a principal enzima responsável pela eliminação do peróxido de hidrogênio, onde atua fortemente na eliminação deste composto utilizando o ascorbato reduzido (SRUTHI *et al*, 2019). Esta enzima evidencia a defesa da planta na destruição de radicais livres como forma de prevenção a danos mais intensos, isso corrobora com o fato desta enzima atuar no combate a vários estresses abióticos por toxidez de metais, sendo expressa pelo aumento da atividade antioxidante (KUMAR *et al*, 2007). Além do mais, apresenta um padrão de resposta diferencial entre tecidos (XIE *et al*, 2019).

A capacidade de manter a atividade da CAT em níveis elevados sob condições de estresse é essencial para o equilíbrio entre a formação e remoção de H_2O_2 do ambiente intracelular, pois esta enzima catalisa a redução do H_2O_2 para água (H_2O) e O_2 , protegendo a célula dos danos oxidativos oriundos da acumulação excessiva deste composto (NATASHA *et al*, 2019; XIE *et al*, 2019). O aumento da catalase é assumido como uma estratégia adaptativa contra o dano causado por estresse oxidativo mediante altas concentrações de metais pesados (RAZA *et al*, 2022). Assim, foi constatado a necessidade do estímulo da catalase, para reduzir o H_2O_2 gerado pelo estresse oxidativo, a fim de formar outros produtos que não são tóxicos para a célula vegetal e assim promover a manutenção da homeostase celular (RAZA *et al*, 2022; SMITH *et al*, 2023).

3.2.3 Aprimoramento de genes responsivos ao estresse

Verifica-se que na literatura, que o aprimoramento de genes responsivos ao estresse está relacionado na expressão de genes envolvidos em vias antioxidantes, no metabolismo de osmólitos, na capacidade fotossintética da plântula, e no perfil do transcriptoma de genes que codificam a enzima biossintética ABA, fatores de transcrição e LEA (PAUL *et al*, 2017).

Nesses genes há a reparação de danos cromossômicos, pois permitem a detecção precoce do DNA replicado e reparado, aumentando a síntese de RNA e proteína “de novo” e reduzindo a integridade da membrana (IDM) e aumentando o vazamento de eletrólitos. Consoante YANG *et al* (2016), metais pesados podem modificar características importantes da membrana plasmática que possui carga negativa na superfície, representando um

alvo sensível à fitotoxicidade, e exposição à altas dosagens pode causar perda de íons celulares (SILVA *et al*, 2016), já que a perda da integridade da membrana é a definição comum de morte celular (HATSUGAI & KATAGIRI, 2018). Além do fato da plântula de manter a integridade de suas membranas celulares através dos osmorreguladores, como os carboidratos, sacarose, açúcares redutores, amônio livre, proteínas e aminoácidos (TANG *et al*, 2019), todas variáveis citadas anteriormente neste estudo.

Em sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a germinação é causada por um aumento no teor de giberelina via ativação do gene biossintético da giberelina, gene GA20ox, que codifica uma enzima chamada 3-oxidosqualeno ciclase, esta enzima está envolvida na conversão de hidrocarbonetos em giberelina A12 (NAKAUNE *et al*, 2012), porém, a via do ácido mevalônico é a principal via biossintética para a produção de GA (SENEVIRATNE *et al*, 2019). Ademais, a rota biossintética das giberelinas é complexa e envolve várias enzimas, incluindo a GA3ox (giberelina 3-oxidase), que converte a giberelina A12 em formas mais ativas, como a giberelina A1. Foi relatado também pelo autor, um aumento posterior na expressão de genes relacionados ao enfraquecimento da capa do endosperma, sendo eles expansinas, poligalacturonases, beta-glicosidases, proteases, celulasas e hemicelulasas (HEDDEN *et al*, 2020). Vale destacar que as giberelinas melhoram germinação de sementes inibindo a atividade ABA, giberelinas ativam as enzimas catabolizadoras de ABA e diminui o acúmulo de ABA durante a germinação, sendo ABA um hormônio inibidor da germinação (LIU *et al*, 2018).

Muitos genes relacionados à germinação são regulados positivamente com uso de mitigadores, podendo ser através do uso de fitohormônios e/ou bactérias promotoras de crescimento (PGPR), pois promovem a síntese de GA3ox, RGL2 e LEC1, sendo este último Leafy Cotyledon 1, responsável no desenvolvimento embrionário durante a germinação de sementes (CASTRO-CAMBA *et al*, 2022). Ou seja, são necessários para biofísica e processos bioquímicos durante a germinação e até aceleração da emergência de plântulas, esses mitigadores reprogramam a expressão gênica para síntese de enzimas antioxidantes (AAZAMI *et al*, 2021), como discorrido esta é uma defesa da célula contra danos oxidativos e peroxidação lipídica (ZHONG *et al*, 2020).

3.3 Mitigadores

A implementação de medidas eficazes para mitigar estresses ambientais na fisiologia das sementes requer uma abordagem multidisciplinar que integre biologia vegetal e técnicas de limpeza de solos salinos e/ou por metais pesados (fitorremediação). Verificou-se na literatura que há um aumento em estudos referente à processos envolvidos na germinação, foram desenvolvidos métodos para promover esses processos das sementes agrícolas e florestais em ambientes estressantes. Por isto este tópico comenta sobre os principais mitigadores utilizados em sementes e plântulas, e sua importância.

A rápida germinação das sementes e o estabelecimento do estande são fatores cruciais que afetam a produção de sementes agrícolas em condições de estresse. Os mitigadores associados as sementes, promovem maior emergência e mais rápida, além de crescerem com mais vigor e apresentarem melhor desempenho as condições adversas de ambiente (IBRAHIM, 2016; WU *et al*, 2019; SOARES *et al*, 2020)

Os mitigadores promovem certas alterações fisiológicas, bioquímicas, celulares e moleculares. Os estímulos aos processos metabólicos pré-germinativos e preparação da semente para a protrusão da radícula, com mudanças que incluem divisão e alongamento celular, membrana plasmática fluidez, a indução de proteínas responsivas ao estresse (choque térmico proteínas e proteínas abundantes na embriogênese tardia), alterações na transcriptoma e proteoma, atividade H⁺-ATPase (YU *et al*, 2018). Além disso, progresso em direção à germinação em sementes preparadas está associado a um aumento no potencial de síntese proteica, capacidade de processamento pós-tradução e proteólise direcionada (WU *et al*, 2019; SOARES *et al*, 2020; DARTORA *et al*, 2020; HAN *et al*, 2017).

3.3.1 *Brassinosteróides (24-Epibrassinolide)*

Os brassinosteróides são hormônios vegetais, que quando associados na germinação de sementes e emergência de plântulas promove respostas bioquímicos durante a germinação e até aceleração da emergência de plântulas (SOARES *et al*, 2020). Há estudos que relatam que esse mitigador reprograma a expressão gênica para síntese de enzimas antioxidantes, como discorrido esta é uma defesa da célula contra danos oxidativos e peroxidação lipídica (MA *et al*, 2022; ZHONG *et al*, 2020).

Os autores Soares *et al* (2020), estudaram o efeito mitigador do brassino em sementes de *Brassica juncea* em exposição ao chumbo, os mesmos perceberam que o metal pesado reduziu a germinação das sementes a uma taxa de 58% em comparação com o controle, contudo, com a aplicação de EBL nas sementes na pré-embebição houve um aumento na germinação, principalmente na concentração de 10⁻⁸ M, onde esta dosagem proporcionou uma porcentagem de germinação maior do que aquela obtido no EBL 0, tratamento sem brassinosteróides (figura 9).

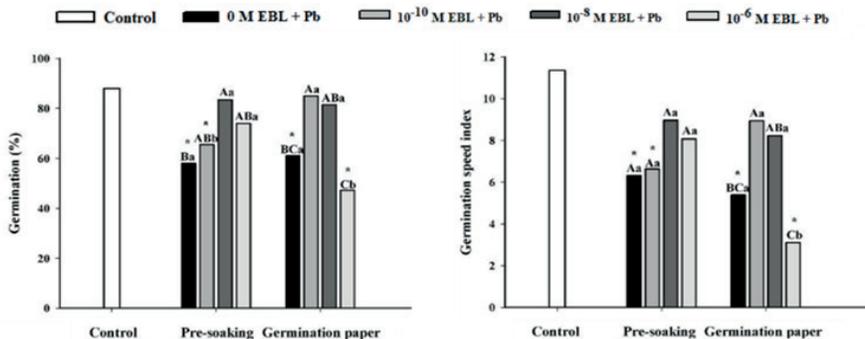


Figura 9. Efeito do EBL na germinação e no índice de velocidade de germinação de *Brassica juncea* exposta a chumbo. Letras maiúsculas comparam as concentrações de EBL aplicadas nas sementes na pré-embrição e no papel de germinação. Letras minúsculas comparam duas formas diferentes de aplicação (em sementes em pré-embrição e em papel de germinação) dentro de cada concentração de EBL.

Fonte: Soares *et al.*, 2020.

Como visto acima, a aplicação de brassino em sementes com metal, tiveram valores semelhantes de germinação em comparação com o controle (tratamento sem chumbo e sem EBL). Porém, vale ressaltar que em muitos estudos, foi verificado que o uso de 24-Epibrassinolide não possui efeito significativo em sementes e plântulas saudáveis e em condições de ambientes favoráveis, seu efeito mitigador e potencializador de crescimento tem significância em sementes e plântulas em condições de estresse, sendo eles por exposição a metal pesado, salinidade e déficit hídrico.

3.3.2 Inoculação de *Azospirillum*

Azospirillum sp. é um dos gêneros de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas mais bem estudados atualmente, um dos principais mecanismos propostos para *Azospirillum* sp. para explicar a promoção do crescimento vegetal de plantas inoculadas, tem sido relacionada à sua capacidade de produzir e metabolizar vários fitohormônios e outras moléculas reguladoras do crescimento vegetal (CASSÁN *et al.*, 2016).

Afetar o vazamento da parede celular e a absorção de água está entre os efeitos mais importantes do estresse salino e hídrico no desenvolvimento das sementes, e o *Azospirillum* é capaz de sobreviver e agir nas sementes mesmo sob estresse hídrico, auxiliando na produção de hormônios vegetais como o IAA, produzido pela expressão do gene *ipdC*, ademais, esta PGPR auxilia na síntese de metabólitos secundários que estão envolvidos em diversos processos fisiológicos fornecem tolerância ao estresse (ARZANESH *et al.*, 2011; FUKAMI *et al.*, 2017).

Na tabela abaixo, retirada do estudo de Dartora *et al.* (2020), verifica-se que a utilização do tratamento de sementes afetou positivamente e significativamente a

germinação e massa seca das raízes das plântulas de trigo, onde o *Azospirillum* promoveu a síntese de substâncias promotoras de crescimento.

	Germinação (%)	Massa seca de raízes (mg)
COM	91 a	4,7 a
SEM	86 b	3,7 b
CV (%)	1,98	14,6

Tabela 1. Valores médios de germinação e massa seca de raízes de plântulas de trigo, sem e com inoculantes de *Azospirillum brasilense* na semente.

Fonte: Dartora *et al.*, 2020.

3.3.3 Ácido 5-aminolevulínico (5-ALA)

O ácido aminolevulínico é um composto natural vegetal, porém sua forma sintética (ácido 5-aminolevulínico) vem ganhando destaque em estudos sobre estresses ambientais, quando aplicado, possui potencial de síntese de conteúdo de soluto, como prolina e açúcar solúvel, e a atividade de enzimas protetoras, como superóxido dismutase, peroxidase e catalase são importantes indicadores de estresse (CHEN *et al.*, 2017).

No estudo de Han *et al.* (2017), verificou-se os efeitos do 5-ALA no comprimento de hipocótilos e radícula de plântulas de alfafa sob estresse hídrico. Em comparação com o controle, o comprimento dos hipocótilos diminuiu significativamente pelo estresse hídrico, porém foi melhorado pela aplicação de 20 mg/L de 5-ALA, valor significativamente maior em comparação ao sem 5-ALA. Enquanto o comprimento da radícula aumentou significativamente em 25,6% após o estresse hídrico e aumentou ainda mais significativamente pelo tratamento com 5-ALA de 5 para 30 mg/L.

Treatments	Hypocotyls length (cm)	Radicle length (cm)
Control (C)	1.06 ± 0.060 ^a	3.48 ± 0.091 ^d
15% PEG (T1)	0.63 ± 0.024 ^{cd}	4.37 ± 0.236 ^c ←
15% PEG + 5 mg L ⁻¹ 5-ALA (T2)	0.56 ± 0.008 ^d	5.10 ± 0.093 ^{ab}
15% PEG + 10 mg L ⁻¹ 5-ALA (T3)	0.69 ± 0.018 ^c	4.88 ± 0.174 ^b
15% PEG + 20 mg L ⁻¹ 5-ALA (T4)	0.84 ± 0.026 ^b	5.40 ± 0.077 ^a ←
15% PEG + 30 mg L ⁻¹ 5-ALA (T5)	0.69 ± 0.034 ^c	4.86 ± 0.240 ^b

Tabela 2. Efeitos do ácido 5-aminolevulínico (5-ALA) no comprimento dos hipocótilos e radícula de alfafa sob estresse hídrico.

Fonte: Han *et al.*, 2017.

O tratamento de sementes com 5-ALA aumenta a resistência das sementes à salinidade e diversos outros estressores ambientais. Porém, como no brassinosteróide, foi verificado que não é sempre que o uso de ácido 5-aminolevulínico possui efeito significativo em sementes e plântulas saudias e em condições de ambientes favoráveis, e sim que seu

efeito mitigador e potencializador de crescimento tem muitas das vezes significância somente em sementes e plântulas que estão em condições de estresse.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fisiologia das sementes expostas a estresses ambientais é afetada de diversas maneiras, desde a germinação na reativação do metabolismo, até o comprometimento do crescimento e o estabelecimento de plântulas normais. No entanto, as sementes desenvolveram mecanismos de defesa para superar esses estressores ambientais, sendo através da síntese de osmorreguladores e enzimas antioxidantes. Os mitigadores melhoraram o desenvolvimento das sementes e seu desempenho sob condições de estresse, estes promovem o desenvolvimento de mecanismos de defesas como sistema de defesa antioxidante e ajuste osmótico. Pesquisas futuras devem ser realizadas focando nas alterações moleculares, fisiológicas e metabólicas induzidas por demais agentes mitigadores sob estresse salino e metal pesado, avaliando todo o ciclo vegetal, da fase embrionária, vegetativas e reprodutivas.

AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

AAZAMI, Mohammad Ali *et al.* **Danos oxidativos, mecanismo antioxidante e expressão gênica em tomateiro respondendo ao estresse salino sob condições in vitro e aplicação de nanopartículas de óxido de ferro e zinco na indução de calos e regeneração vegetal.** BMC Biologia Vegetal. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03379-7>

AHMED, Bilal *et al.* **Understanding the phyto-interaction of heavy metal oxide bulk and nanoparticles: evaluation of seed germination, growth, bioaccumulation, and metallothionein production.** RSC advances, v. 9, n. 8, p. 4210-4225, 2019. DOI: 10.1039/C8RA09305A.

ALVES, Francisco Abel Lemos *et al.* **Regulação do acúmulo de Na⁺ e resistência à salinidade em (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** Pesquisa Agropecuária Pernambucana, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12661/pap.2015.001>.

ALVES, Rafael Mateus *et al.* **Oxidative damage associated with salt stress during germination and initial development of purple corn seedlings.** Acta Scientiarum. Agronomy, v. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.55760>.

AMORIM, Isabela Pedroni; SILVA, João Paulo Naldi; BARBEDO, Claudio José. **As sementes de *Eugenia* spp.(Myrtaceae) e seus novos conceitos sobre propagação.** Hoehnea, v. 47, p. e292020, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-29/2020>.

ARZANESH, M.H., Alikhani, H.A., Khavazi, K. *et al.* **Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress.** World J Microbiol Biotechnol 27, 197–205 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0444-1>.

ATAÍDE, Glauciana da Mata; BORGES, Eduardo Euclides de Lima; FLORES, Andressa Vasconcelos. **Atividade enzimática em sementes de braúna submetidas ao estresse térmico.** Ciência Rural, v. 46, p. 1044-1049, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141800>.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Campina Grande: UFPB, 1999. 218p.

BAGHEL, Lokesh; KATARIA, Sunita; GURUPRASAD, Kadur Narayan. **Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean.** Bioelectromagnetics, v. 37, n. 7, p. 455-470, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.21988>.

BERWAL, M.; RAM, Chet. **Superoxide dismutase: A stable biochemical marker for abiotic stress tolerance in higher plants.** Abiotic and biotic stress in plants, p. 1-10, 2018. DOI: [10.5772/intechopen.82079](https://doi.org/10.5772/intechopen.82079).

BEZERRA, M. A. F. *et al.* **Cultivo de feijão-caupi em Latossolos sob o efeito residual da adubação fosfatada.** Revista Caatinga, v. 27, n. 1, p. 109-115, 2014.

BIJU, Sajitha; FUENTES, Sigfredo; GUPTA, Dorin. **Silicon improves seed germination and alleviates drought stress in lentil crops by regulating osmolytes, hydrolytic enzymes and antioxidant defense system.** Plant Physiology and Biochemistry, v. 119, p. 250-264, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.001>.

CASSÁN, Fabricio; DIAZ-ZORITA, Martín. **Azospirillum sp. in current agriculture: From the laboratory to the field.** Soil Biology and Biochemistry, v. 103, p. 117-130, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.

CASTRO-CAMBA, Ricardo *et al.* **Plant development and crop yield: The role of gibberellins.** Plants, v. 11, n. 19, p. 2650, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192650>.

CHEN, G. *et al.* **Effects of 5-aminolevulinic acid on nitrogen metabolism and ion distribution of watermelon seedlings under salt stress.** Russian journal of plant physiology, v. 64, p. 116-123, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443717010046>.

COSTA, J. R. da S. **Efeitos da toxicidade do cromo em plantas.** Revista Intertox De Toxicologia, Risco Ambiental E Sociedade, v. 13, n. 1, p. 45-46, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22280/revintervol13ed1.463>

DANISH, Aamar *et al.* **A compendious review on the influence of e-waste aggregates on the properties of concrete.** Case Studies in Construction Materials, v. 18, p. e01740, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01740>.

DATTA, Shivika *et al.* **Vermiremediation of Agrochemicals, PAHs, and Crude Oil Polluted Land. In: Bio-Inspired Land Remediation.** Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 287-315. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-04931-6_12.

DORIGON, Clóvis *et al.* **A produção de alimentos para o autoconsumo em famílias de agricultores da região oeste do Estado de Santa Catarina.** Redes. Revista do Desenvolvimento Regional, v. 25, n. 2, p. 2060-2085, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17058/redes.v25i0.14645>.

FELIX, Francival Cardoso *et al.* **Estresse hídrico e térmico na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 13, n. 2, p. 1-7, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100011>.

FERNANDES-SILVA, Anabela A. *et al.* **Leaf water relations and gas exchange response to water deficit of olive (cv. Cobrançosa) in field grown conditions in Portugal.** Plant and soil, v. 402, n. 1-2, p. 191-209, 2016.

FUKAMI, Josiane *et al.* **Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth.** AMB Express, v. 7, p. 1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>.

GLÓRIA, Beatriz Appezato da; GUERREIRO, CSM. **Anatomia vegetal.** Universidade de Viçosa. UFV, 4ª edição, 2022.

HAN, Ruihong *et al.* **Effects of exogenous 5-aminolevulinic acid on seed germination of alfalfa (*Medicago varia* Martyn.) under drought stress.**

Grassland science, v. 64, n. 2, p. 100-107, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/grs.12189>

HATSUGAI, Noriyuki; KATAGIRI, Fumiaki. **Quantification of plant cell death by electrolyte leakage assay.** Bio-protocol, v. 8, n. 5, p. e2758-e2758, 2018. DOI: 10.21769/BioProtoc.2758.

HEDDEN, Peter. **The current status of research on gibberellin biosynthesis.** Plant and Cell Physiology, v. 61, n. 11, p. 1832-1849, 2020. DOI: 10.1093/pccp/pcaa092.

IBRAHIM, Ehab A. **Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds.** Journal of plant physiology, v. 192, p. 38-46, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011>.

KRZEMIEŃ, Alicja *et al.* **Valuation of Ecosystem Services Based on EU Carbon Allowances - Optimal Recovery for a Coal Mining Area.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 1, p. 381, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20010381>.

KUMAR, P., KUMAR TEWARI, R. AND NAND SHARMA, P. (2007). **Excess nickel-induced changes in antioxidative processes in maize leaves.** J. Plant Nutr. Soil Sci., 170: 796-802. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.200625126>.

LIU, Li *et al.* **Salinity inhibits rice seed germination by reducing α -amylase activity via decreased bioactive gibberellin content.** Frontiers in Plant Science, v. 9, p. 275, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00275>.

MA, Qian *et al.* **Exogenous 24-epibrassinolide boosts plant growth under alkaline stress from physiological and transcriptomic perspectives: The case of broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.).** Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 248, p. 114298, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114298>.

MARCOS FILHO, Júlio. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** ABRATES. 2015.

MARINHO, Juliane Prela *et al.* **Characterization of molecular and physiological responses under water deficit of genetically modified soybean plants overexpressing the AtAREB1 transcription factor.** Plant molecular biology reporter, v. 34, n. 2, p. 410-426, 2016.

MEDEIROS, José Francismar *et al.* **Salinidade e pH de um Argissolo irrigado com água salina sob estratégias de manejo.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 11, n. 3, p. 1407, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n300560.

MITTAL, N.; VAID, P.; AVNEET, K.. **Effect on amylase activity and growth parameters due to metal toxicity of iron, copper and zinc.** Indian journal of applied research, v. 5, n. 4, p. 662-664, 2015.

MUNNS, Rana *et al.* **Mechanisms of Salinity Tolerance.** Annual Review of Plantv Biology. v. 59, p. 651-681, jun. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>.

MUNNS, Rana. **Comparative physiology of salt and water stress.** Plant, cell & environment, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NAKAUNE, M., Hanada, A., Yin, Y.G., Matsukura, C., Yamaguchi, S., 2012. **Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato.** Plant Physiol. Biotechnol. 52, 28–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.11.005>.

NATASHASM *et al.* (2019). **A multivariate analysis of comparative effects of heavy metals on cellular biomarkers of phytoremediation using Brassica oleracea.** International Journal of Phytoremediation, 1–11. DOI:10.1080/15226514.2019.1701980.

OLIVEIRA FREIRE, José Lucínio *et al.* **Teores de clorofila e composição mineral foliar do maracujazeiro irrigado com águas salinas e biofertilizante.** Revista de Ciências Agrárias, v. 36, n. 1, p. 57-70, 2013. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16285>.

PANDEY, Girdhar K.; MAHIWAL, Swati. **Role of potassium in plants.** Cham: Springer, 2020.

PATEL, H. V.; PARMAR, S. R.; CHUDASAMA, C. J.; MANGROLA, A. V.. **Interactive studies of zinc with cadmium & arsenic on seed germination and antioxidant properties of *Phaseolus aureus* Roxb.** International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, v. 3, n. 1, p. 166-174, 2013.

PAUL, Saikat; ROYCHOUDHURY, Aryadeep. **Seed priming with spermine and spermidine regulates the expression of diverse groups of abiotic stress-responsive genes during salinity stress in the seedlings of indica rice varieties.** Plant Gene, v. 11, p. 124-132, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plgene.2017.04.004>

PAWLAK, Sylwia *et al.* **Cu, Zn-superoxide dismutase is differently regulated by cadmium and lead in roots of soybean seedlings.** Acta Physiologiae Plantarum, v. 31, p. 741-747, 2009. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0286-3>.

RAZA, Ali *et al.* **Plant hormones and neurotransmitter interactions mediate antioxidant defenses under induced oxidative stress in plants.** Frontiers in

Plant Science, v. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.961872>.

SANO, Naoto *et al.* **Proteomic analysis of stress-related proteins in rice seeds during the desiccation phase of grain filling.** Plant Biotechnology, v. 30, n. 2, p. 147-156, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.13.0207a>.

SAUX, Marine *et al.* **A multiscale approach reveals regulatory players of water stress responses in seeds during germination.** Plant, cell & environment, v. 43, n. 5, p. 1300-1313, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.13731>

SENEVIRATNE, Mihiri *et al.* **Heavy metal-induced oxidative stress on seed germination and seedling development: a critical review.** Environmental geochemistry and health, v. 41, p. 1813-1831, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0005-8>

SHAFIQ, M.; IQBAL, M. Z.; MOHAMMAD, A.. **Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of *Leucaena leucocephala*.** Journal of Applied Sciences and Environmental Management, v. 12, n. 3, 2008. DOI: 10.4314/jasem.v12i3.55497

SHAO, Hong-Bo *et al.* **Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants.** Comptes rendus biologes, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, K. S. *et al.* **Electrolyte leakage and the protective effect of nitric oxide on leaves of flooded rice exposed to herbicides.** Planta Daninha, v. 34, p. 777-786, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340400018>.

SMITH, Brandon S. *et al.* **ER stress-associated transcription factor CREB3 is essential for normal Ca²⁺, ATP, and ROS homeostasis.** Mitochondrion, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mito.2023.01.001>.

SOARES, Tássia Fernanda Santos Neri *et al.* **Exogenous brassinosteroids increase lead stress tolerance in seed germination and seedling growth of *Brassica juncea* L.** Ecotoxicology and environmental safety, v. 193, p. 110296, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110296>.

SOUSA, A. C. M. de.; NOGUEIRA, G. A. dos S.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; CRUZ, E. D.; SILVA, B. G. H. da; SILVA, A. C. da; PANTOJA, J. da S. **Effect of gibberellic acid on seed germination and initial biomass production in *Virola surinamensis* (Rol.) Warb. (Myristicaceae).** Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e7639109069, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.9069

SRUTHI, P., & PUTHUR, J. T. (2019). **Characterization of physiochemical and anatomical features associated with enhanced phytostabilization of copper in *Bruguiera cylindrica* (L.) Blume.** International Journal of Phytoremediation, 1–19. doi:10.1080/15226514.2019.1633263.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A.. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora. 2017.

TANG, Y., Wang, L., Xie, Y., Yu, X., Li, H., Lin, L., ... Tu, L. (2019). **Effects of exogenous abscisic acid on the growth and cadmium accumulation of lettuce under cadmium-stress conditions.** International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1–12. doi:10.1080/03067319.2019.1639686.

TUTEJA, Narendra; GILL, Sarvajeet Singh; TUTEJA, Renu. **Plant responses to abiotic stresses: shedding light on salt, drought, cold and heavy metal stress.** Omics and plant abiotic stress tolerance, v. 1, p. 39-64, 2011. DOI: 10.2174/97816080505811110101.

VAAHTERA, Lauri; SCHULZ, Julia; HAMANN, Thorsten. **Cell wall integrity maintenance during plant development and interaction with the environment.** Nature plants, v. 5, n. 9, p. 924-932, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0502-0>.

VENDRUSCOLO, E. P., CAMPOS, L. F. C., MARTINS, A. P. B., SELEGUINI, A. **GA3 em sementes de tomateiro: efeitos na germinação e desenvolvimento inicial de mudas.** Revista de Agricultura Neotropical, v. 3 n. 4, p. 19-23, 2016. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v3i4.1165>.

WU, Yue *et al.* **5-Aminolevulinic acid (ALA) biosynthetic and metabolic pathways and its role in higher plants: a review.** *Plant Growth Regulation*, v. 87, p. 357-374, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0463-8>.

XIE, Xiulan *et al.* **The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant.** *BioMed research international*, v. 2019, 2019. DOI: 10.1155/2019/9732325.

YANG, Liming *et al.* **The dynamic changes of the plasma membrane proteins and the protective roles of nitric oxide in rice subjected to heavy metal cadmium stress.** *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 190, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00190>.

YU, Yicheng *et al.* **Melatonin-stimulated triacylglycerol breakdown and energy turnover under salinity stress contributes to the maintenance of plasma membrane H⁺-ATPase activity and K⁺/Na⁺ homeostasis in sweet potato.** *Frontiers in plant science*, v. 9, p. 256, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00256>.

ZHANG, Xingxu *et al.* **Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and antioxidative enzymes in *Achnatherum inebrians* plants infected with a *Neotyphodium* endophyte.** *Plant Growth Regulation*, v. 60, p. 91-97, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9422-8>.

ZHONG, Woxiu *et al.* **Effect of 24-epibrassinolide on reactive oxygen species and antioxidative defense systems in tall fescue plants under lead stress.** *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 187, p. 109831, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109831>.

ZHOU, Wenguan *et al.* **Plant waterlogging/flooding stress responses: From seed germination to maturation.** *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 148, p. 228-236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.01.020>.

APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE VON BERTALANFFY PARA EVALUAR EL CRECIMIENTO DE *Macrobrachium rosenbergii* EN CULTIVO SEMI-INTENSIVO EN LA ESTACIÓN DE BIOECOLOGÍA PRODUCTIVA DE SAN JUAN DE CURUMUY, PIURA-PERÚ

Data de submissão: 17/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

A. Salgado-Ismodes

Dpto. de Ciencias Biológicas
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Piura

A. Salgado-Leu

Dpto. de Ciencias Biológicas
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Piura

RESUMEN: En el manejo del cultivo de cualquier especie acuícola, resulta necesario hacer el seguimiento de cómo se comporta ésta, en términos de su crecimiento en longitud y peso, densidades, supervivencia, entre otros. Por tanto, es indispensable tener información, lo más aproximado a lo real sobre uno de estos factores como es el crecimiento que esta experimentando la especie sometida a cultivo. Uno de los modelos que se aplica para estos fines, es el modelo de Von Bertalanffy, inicialmente, utilizado para evaluar el crecimiento en diversas pesquerías. En consecuencia, se propone traer este modelo para evaluar el crecimiento de la especie, en este caso, al “camarón gigante de Malasia”, *Macrobrachium rosenbergii*, sometida a un cultivo semi-intensivo. Este modelo

permite obtener información sobre la longitud y peso asintóticos (máximos), así como su velocidad y tiempo de crecimiento. Para estos efectos se sembraron 250 individuos juveniles en cada estanque de 37 metros cuadrados, con una columna de agua de 1 m. La densidad de siembra fue de 6,7 individuos por metro cuadrado. El tamaño promedio de los juveniles fue de 34,21 mm y peso de 0,23169 g. Se propusieron tres tratamientos alimenticios, (A) harina de pescado (40%) + polvillo de arroz (60%); (B) harina de pota (40%) + polvillo de arroz (60%), y (C) sin alimento. Cada tratamiento tuvo dos réplicas. La alimentación fue suministrada dos veces al día. Al cabo del quinto mes, los tratamientos A y B obtuvieron los mayores crecimientos (162,35 y 160,93 mm, respectivamente) y longitudes asintóticas de 385,65 y 448,53 mm, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Von Bertalanffy, *Macrobrachium*, crecimiento

APPLICATION OF VON BERTALANFFY MODEL TO GROWING ASSESSTMENT OF MACROBRACHIUM ROSENBERGII IN SEMI-INTENSIVE FARMING IN ESTACIÓN DE BIOECOLOGIA PRODUCTIVA SAN JUAN DE CURUMUY, PIURA-PERU

ABSTRACT: Assessment strategies for following behaviours of growing in length and weight, densities, survival, among others, must be needed in aquaculture species. Therefore, it is essential to get the more real information, in this case on growing of the species cultured. One of the models applied for these purposes is the Von Bertalanffy model, which was, primarily, used to assess the growth of species belonged to different fisheries. As a consequence, it is proposed to apply this model to assess the growing of the specie, in this case “giant freshwater prawn”, **Macrobrachium rosenbergii**, subjected to a semi-intensive culturing. For this purpose, 250 juveniles were seeded in each pond (37 square meters). Initial density was 6,7 individuals per square meter. Average size of juveniles was 34,21 mm and 0,23169 g. Three feeding treatment were essayed with two replicates: Treatment (A) fish meal (40%) + rice bran (60%); Treatment (B) giant squid meal (40%) + rice bran (60%); and Treatment (C) no feeding. At month 5, treatment A and B got the highest size (162,35 and 160,93 mm respectively) and Asinthotic lengths of 385,65 and 448,53 mm respectively.

KEYWORDS: Von Bertalanffy, Macrobrachium, growth

1 | INTRODUCCIÓN

El “Camarón gigante de Malasia”, *Macrobrachium rosenbergii* fue introducido por la Universidad Nacional Agraria La Molina, por los años 1983, mediante la siembra de post-larvas traídas de Israel y Panamá. A partir de esa introducción, la especie se ha propagado a través de su cultivo a distintas regiones del país (Salgado, 1995). Esta actividad llegó a Piura luego de haber pasado por periodos de adaptación y ensayos preliminares (Salgado, 2001), habiendo alcanzado niveles comerciales.

Para esto, lograr comprender las características del crecimiento de la especie en el cultivo, resulta fundamental para su manejo y constante evaluación en acuicultura (Sampaio and Venturi, 1996; Ibarra and Wehrtmann, 2020). El crecimiento es el incremento en longitud, volumen o peso en un determinado tiempo (Hartnoll, 1982), que resulta del balance entre los procesos anabólicos y catabólicos que ocurren en el individuo (Von Bertalanffy, 1938)

En acuicultura, el análisis de la información del crecimiento, mayormente recae en los datos del inicio y de la finalización de la cosecha, soslayando la información que puede haberse tomado o no durante el tiempo de cultivo. En este sentido, en el presente trabajo, se ha efectuado el seguimiento de este parámetro, para lo cual, los datos obtenidos han sido obtenidos de Salgado (2001) y ajustados a los modelos desarrollados para estos objetivos y que permiten efectuar una comparación cuantitativa relacionada a la condición del animal, su alometría en el crecimiento, su longitud y peso asintóticos y velocidad y tiempo de crecimiento, con el fin de optimizar ingredientes alimenticios, y tiempo optimo

de cosecha mediante el uso del modelo de crecimiento de von Bertalanffy. (Dominguez et al., 2024).

2 | MATERIAL Y METODOS

El trabajo se ejecutó en las instalaciones de la Estación de Bioecología Productiva de San Juan de Curumuy, Medio Piura, que conduce el Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Piura. Se estabularon 250 individuos juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* (34,21 mm y 0,2316 g de longitud y peso respectivamente), en cada estanque de mampostería (láminas de piedra + cemento, tanto en paredes como en fondo) y cuyas dimensiones fueron: largo, 9,5 m; ancho, 3,9 m; y profundidad 1,2 m. (En total, 6 estanques). Los juveniles provenían de la fase de precrianza efectuada en la misma Estación. El agua utilizada fue tomada del canal Parales del sistema de riego Chira-Piura que irriga la zona de Curumuy, ingresando esta a los estanques por un tubo PVC 4" de diámetro, cubierto de malla celosía para impedir el ingreso de predadores y otros. La estructura de desagüe estaba formada por un monge con tubo de cemento de 8" de diámetro, accionado con mallas y tablas corredizas. La tasa de renovación de agua fue de 2% diario, llegándose a tener periodos sin abastecimiento de agua por razones de la Administración del valle. La densidad de siembra fue de 6,7 individuos por metro cuadrado. Se plantearon tres tratamientos con dos repeticiones cada uno: Tratamiento A (T-A) - Harina de pescado (40%) + Polvillo de arroz (60%); Tratamiento B (T-B) – Harina de pota (40%) + Polvillo de arroz (60%); y Tratamiento C (T-C) – Testigo (sin alimento). Los animales fueron alimentados inicialmente con una ración diario de 200 gramos del alimento correspondiente; luego fue suministrado *ad-libitum*, evaluándose su consumo y reajuste mediante la instalación de "muestreadores" (aros de metal de 0,5 m de diámetro, con malla celosía adherida a la superficie circular) colocados sobre el fondo de cada estanque. El consumo de alimento se evaluó sobre la cantidad que se posaba sobre la malla del aro de muestreo, efectuándose el reajuste pertinente. La ración diaria se dividió en dos porciones: 25% por la mañana (09 horas) y 75% por la tarde (18 horas). Se realizaron tomas de muestras mensuales de ejemplares (25 individuos) en cada estanque, con la finalidad de evaluar el crecimiento en longitud y en peso. El proceso y análisis de los datos se efectuaron según Santos (1978), determinándose para cada uno de los tratamientos las siguientes expresiones y parámetros:

-Relación entre el peso (P en gramos) y la longitud (L en mm)

Se utilizó la expresión matemática $P=F.L^n$ correspondiente al gráfico resultante de relacionar Pesos contra Longitudes, corroborado por la linealidad de su transformación logarítmica, donde "F" (factor de condición que mide el grado de gordura del animal) y "n" mide la alometría del crecimiento.

-Ecuación de crecimiento en longitud y peso

Para expresar el cambio que experimenta la longitud media en función del tiempo de cultivo, se utilizó el modelo de Von Bertalanffy, cuya ecuación se basa en hipótesis fisiológicas que manifiesta que el crecimiento en longitud y en peso, es el resultado de la diferencia entre factores anabólicos y catabólicos considerados proporcionales a la superficie del cuerpo y al peso del animal (Gulland, 1971). Esta expresión matemática es la siguiente:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}]$$

Donde:

L_t = longitud media de los individuos en un tiempo de cultivo t ;

L_∞ = longitud media máxima asíntótica que los individuos puedan alcanzar en un crecimiento indefinido bajo condiciones de cultivo;

K = coeficiente de crecimiento que mide la velocidad de este;

t = tiempo de cultivo;

t_0 = corrección del tiempo de cultivo para mejorar el ajuste.

Estos parámetros fueron encontrados mediante método de mínimos cuadrados.

Consecuentemente, el valor promedio de $W_\infty = F \cdot L_\infty^n$

Complementariamente, se determinaron los parámetros físico-químicos del agua de cultivo para cada tratamiento: Temperatura, Transparencia, pH y Oxígeno disuelto.

3 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 1, se muestran los resultados del análisis matemático de la relación Peso – Longitud que se le efectuaron a los datos obtenidos de las muestras mensuales. Esta relación resultó expresada en forma diferente, en virtud de las variadas condiciones del hábitat (Santos, 1978)

TRATAMIENTO	ECUACIÓN
A	$P = 2,26 \times 10^{-6} L^{3,29}$
B	$P = 7,59 \times 10^{-6} L^{3,03}$
C	$P = 3,82 \times 10^{-6} L^{3,18}$

Tabla 1.- Expresión matemática de la relación Peso – Longitud según tratamientos

La constante “F” denominada factor de condición mide el grado de engorde o bienestar del animal. Esta constante varió según los tratamientos $P = 2,26 \times 10^{-6}$ para el Tratamiento A; $P = 7,59 \times 10^{-6}$ para el Tratamiento B; y $P = 3,82 \times 10^{-6}$ para el Tratamiento C. De estas, como se observa, el mejor resultó el T-B, muy superior al $P = 1,21 \times 10^{-6}$ encontrado por Sampaio y Valenti, 1996 en Sao Paulo, Brasil, también en cultivos semi-intensivos. Sin embargo, debemos anotar que estos valores son inferiores a los obtenidos en Hawai (Anuenue Fisheries Center): $P = 1,21 \times 10^{-2}$, sometidos estos a niveles de crianza intensiva (Malecha, 1978), así como también lo obtenido en Tailandia $P = 3,4 \times 10^{-3}$ (Menasveta and

Piyatiratitovkul, 1982). En cuanto a la constante “n” relacionada con el tipo de crecimiento de la especie, esta indica modificaciones en la forma ó peso específico del cuerpo de los individuos. Para los tratamientos, esta constante varía entre 3,03 (T-B), 3,29 (T-A), mientras que en Sao Paulo se indica valores entre 3,35 y 3,42 (Sampaio and Valenti, 1996), en Tailandia 3,42 (Menasveta and Piyatiratitovkul, 1982), en Hawai 3,1 (Malecha, 1978), sugiriendo que la mayoría de ellos tienen un crecimiento alométrico positivo (Hartnoll, 1982), siendo el más perfecto el que se acerca a 3 (individuos del T-B = 3,03). En el análisis que se efectúa de la relación Peso – Longitud, el mejor obtenido sugiere la influencia de diversos factores. En el caso que nos ocupa, el crecimiento de los organismos depende de factores endógenos (genéticos) de cada población, así como de factores exógenos (ambientales), que actúan sobre los individuos. Entre los factores exógenos, existen dos de mayor gravitación: la temperatura y la disponibilidad de alimento (Hartnoll, 1982). En este sentido, la mejor relación P/L en la presente experiencia ($P = 7,59 \times 10^{-6}L^{3,03}$), sugiere la influencia del tipo de alimento. Los factores endógenos se descartan puesto que la distribución (siembra) de los juveniles se hicieron al azar.

En el análisis del cuadro 2, se aprecia que los valores obtenidos de las variables L_{∞} y W_{∞} del modelo de Von Bertalanffy, utilizado para expresar el crecimiento en longitud y en peso, se observa que existe variación entre los tratamientos en función de la densidad final o menor sobrevivencia (Croll and van Kooten, 2022). A este respecto y en líneas generales, se observó que conforme disminuyen estas dos variables, existen mayores longitudes y pesos asintóticos (L_{∞} y W_{∞}), como también mayor velocidad de crecimiento en el cálculo de K. No obstante, se puede observar una influencia específica de la harina de pota como ingrediente en el alimento suministrado cambiando esta tendencia, ofreciendo el mayor crecimiento máximo con L_{∞} de 448,53 mm y W_{∞} de 833,42 g, seguido por la harina de pescado con L_{∞} de 385,65 mm y W_{∞} de 728,97 g. Al cabo del quinto mes, se observó que los mayores crecimientos, se obtuvieron con harina de pescado y harina de pota (162,35 y 160,93 mm, respectivamente). No obstante, con harina de pota se logró una supervivencia del 78,5% frente al 39,5% con harina de pescado.

TRATAMIENTOS	SUPERVIVENCIA (%)	DENSIDAD FINAL (ind./m ²)	ECUACIÓN VON BERTALANFFY	W_{∞} (g)
A	39,5	2,65	$L_t = 385,65[1 - e^{-0,1133(t+0,1789)}]$	728,97
B	78,5	5,26	$L_t = 448,53[1 - e^{-0,0912(t+0,1306)}]$	833,42
C	91,0	6,10	$L_t = 219,91[1 - e^{-0,2993(t+0,9646)}]$	107,25

Tabla 2.- Supervivencia, Densidad final y modelo de Von Bertalanffy según tratamientos

Esta misma tendencia es encontrada por Valenti et al., 1993 y Sampaio y Valenti, 1996. Esto se explica en razón de la competencia por alimento y espacio entre los individuos

que residen en una misma área. Cuando el alimento y espacio son limitados, el crecimiento se verá reducido sobre todo por el gasto energético que demanda esta competencia. Esta situación estaría relacionada en el caso de *Macrobrachium rosenbergii* con su territorialidad que se potenciaría más con mayores densidades o sobrevivencias, demandando mayor consumo energético por la situación de tensión (estrés) que provocaría y en consecuencia reflejándose en las variables de crecimiento descritas. Bajo la presencia de agresiones, el estrés es intenso aun cuando el alimento sea abundante (Krebs, 1972). Se desconoce la densidad más baja en las cuales la competencia deja de influir sobre el crecimiento, por lo que resulta recomendable efectuar este tipo de trabajos. Valverde y Velarde, 2020, señalan densidades de 2,5 individuos por metro cuadrado, indicando resultados con buenas rentabilidades. Todos estos factores están considerados en el modelo predictivo que ilustra el tipo de curva obtenida para cada uno de los tratamientos que sirve para hacer predicciones sobre el crecimiento. (Fig. 1) (Lugert et al., 2016).

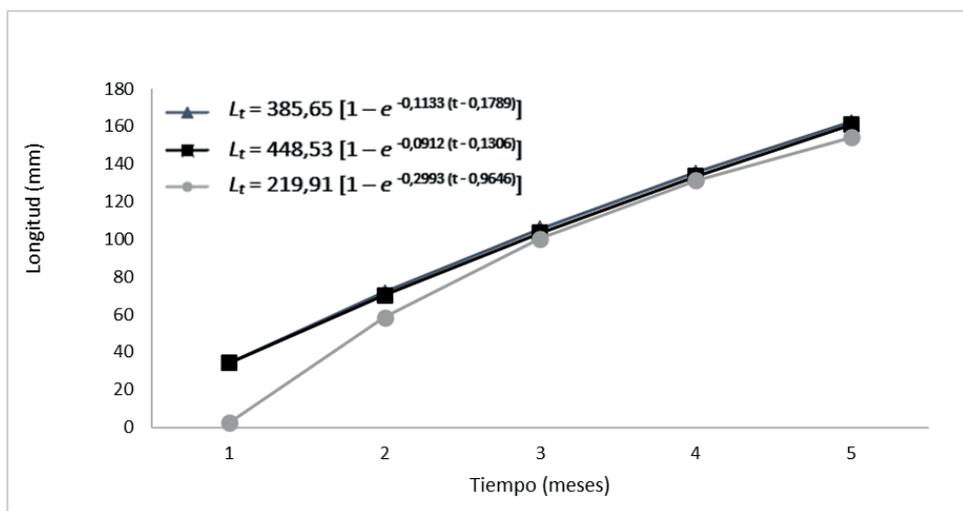


Fig. 1. Curvas de crecimiento de Von Bertalanffy según tratamientos

4 | CONCLUSIONES

El factor de condición y el crecimiento alométrico del “camarón gigante de Malasia”, *Macrobrachium rosenbergii* analizado en la relación Peso-Longitud tiene estrecha relación al tipo de alimento proporcionado, observándose un efecto positivo utilizando harina de pota;

El crecimiento asintótico en longitud y peso, así como la velocidad de crecimiento, considerados en el modelo de Von Bertalanffy, están condicionados con mayor incidencia por la densidad de los individuos en el cultivo que en otras palabras se traduce en competencia por espacio, alimento y sobre todo el estrés relacionado a la territorialidad del

animal, pudiéndose tener una fuerte influencia del tipo de alimento que pueda cambiar esta tendencia. Estos factores están considerados en el modelo para ilustrar y sirven para hacer predicciones de crecimiento.

REFERENCIAS

Croll, J. and van Kooten, T. 2022. **Accounting for temporal and individual variation in the estimation of Von Bertalanffy growth curves.** In: ECOLOGY AND EVOLUTION 12 (12)

Domínguez-May, R., Poot-López, G., Hernández, J., and Velázquez-Abunader, I. 2024. **Optimization of Feed Ration Size in Aquatic System According to the Optimal Control Approach: Implications of Using the von Bertalanffy Growth Model.** In: Aquaculture Research Volume 2024, Article ID 6512507, 13 pages

Gulland, J. 1971. **Manual de Métodos para la Evaluación de las Poblaciones de Peces.** Editorial Acribia, Zaragoza-España. Pag. 39-48.

Hartnoll, R. 1982. **Growth.** In: Bliss, D. E. (Ed. The biology of Crustacea. Embriology, Morphology and Genetics. New York, Academic Press, Inc. v.2, p. 111-198.

Ibarra, M. and Wehrtmann, I. 2020. **Estimates of growth and longevity of six species of freshwater shrimps (Macrobrachium spp.) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) from Costa Rica.** In: JOURNAL OF CRUSTACEAN BIOLOGY 40 (1), pp.45-57

Krebs, C. 1972. **Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance.** Harper and Row, New York, U.S.A.

Lugert, V., Thaller, G., Tetens, J., Schulz, C. And Krieter J. 2016. **A review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application.** In: Reviews in Aquaculture 8, 30–42

Malecha, S. 1978. **Aquaculture of freshwater prawn, Macrobrachium rosenbergii in Hawaii: History, present status and application to other areas.** In: Anais Simposio Brasileiro de Aquicultura. Recife-Pe. Jan. 1 – 23, 1978. Pag. 25-38.

Menasveta, P. and Piyatiratitvokul, S. 1982. **Effects of different culture systems on growth, survival and production of the giant freshwater prawn (Macrobrachium rosenbergii De Man).** In: Development in Aquaculture and Fisheries Science. Vol. 10. Giant Prawn Farming. Ed. Michael B. New. Elsevier Scientific Publishing Company. Pag. 175-189.

Salgado, I. 1995. **El engorde del camarón, Macrobrachium rosenbergii. Estudio de factibilidad técnico-económico.** 56 pp.

Salgado, I. 2001. **Efectos de dos dietas con diferentes fuentes proteicas animales, en la fase de engorde de Macrobrachium rosenbergii (De Man).** En: Universalia 6 (2): 27-35.

Santos, E. 1978. **Dinámica de Populacoes aplicada a pesca e piscicultura.** HUCITEC/EDUSP, Sao Paulo. Pag. 15-45.

Sampaio, C. and Venturi, W. 1996. **Growth curves for Macrobrachium rosenbergii in semi-intensive culture in Brazil.** In: Journal of the World Aquaculture Society Vol. 27, N° 3: 353-358.

Valenti, W., Mello, J. e Castagnolli, N. 1993. **Efeito de densidade populacional sobre as curvas de crescimento de *Macrobrachium rosenbergii* (De Man, 1879) em cultivo semi-intensivo (Crustacea, Palaemonidae)**. En: Revista Brasileira de Zoologia 10: 427-438.

Valverde, J. y Velarde, A. 2020. **Efecto de la densidad de siembra en la productividad y rentabilidad del langostino *Macrobrachium rosenbergii* en la fase de engorde en estanques, Costa Rica**. En: Rev. Inv.Vet, Perú. 31 (3).

Von Bertalanffy, L. 1938. Hum. Biol., **A quantitative theory of organic growth** 181-213 10 2.

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS SOROLÓGICOS PARA DETECÇÃO DE ANTICORPOS ANTI- *Toxoplasma gondii* EM GALINHAS CAIPIRAS

Data de submissão: 22/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

Letícia Ferreira Torrente

Universidade Federal de Jataí, Insituto de Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/0982522877030614>

Natália Domann

Universidade Federal de Jataí, Insituto de Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8556300196030202>

Stéfanne Rodrigues Rezende Ferreira

Universidade Federal de Jataí, Insituto de Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8396448559063761>

Edmar Gonçalves Pereira Filho

Universidade Federal de Jataí, Insituto de Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8851289557895457>

Hanstter Hallison Alves Rezende

Universidade Federal de Jataí, Insituto de Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/4982752673858886>

RESUMO: A Toxoplasmose é uma importante zoonose, seu agente etiológico é o protozoário *Toxoplasma gondii*, que pode parasitar seres humanos e outros vertebrados. As aves e os mamíferos são os hospedeiros intermediários e as galinhas caipiras possuem importância na transmissão da doença por serem reservatório do parasito. Além disso, são consideradas sentinelas para estudos por serem aves que vivem expostas ao solo, que por sua vez, pode estar contaminado. No diagnóstico, os testes de sorológicos de aglutinação contribuem na detecção de anticorpos IgG anti-*T. gondii*. O objetivo foi avaliar a presença de anticorpos anti-*T. gondii* em galinhas caipiras da região sudoeste do estado de Goiás e comparar a eficácia dos testes de aglutinação modificada (MAT) e do teste de hemaglutinação indireta (HAI). As 25 amostras de soro de galinhas caipiras foram submetidas a pesquisa de anticorpos anti-*T. gondii*, através de dois métodos sorológicos. O teste MAT foi realizado conforme descrito por Dubey e Desmonts (1980), já para determinação de anticorpos pela técnica de HAI, utilizou-se o kit comercial ToxoTest HAI WienerLab® seguindo orientações do fabricante. Para ambos os métodos foram utilizados

controles positivos e negativos para validação da reação. Diante dos resultados dos testes foi elaborada uma tabela de contingência 2x2 para a avaliação dos seguintes parâmetros: sensibilidade (S), especificidade (E), valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN). Através da técnica de HAI, obteve-se 19 amostras reagentes para anticorpos anti-*T. gondii*, ou seja, 76% (19/25) sendo que a titulação de anticorpos variou de 1:32 a 1:128, já o resultado obtido pela técnica de MAT, constatou 8 amostras reagentes, equivalente a 32% (8/25) e as titulações variaram de 1:20 a 1:160. Os resultados dos parâmetros calculados foram respectivamente 16,67% (S), 68% (E), 11,11% (VPP), 77,27% (VPN). Foi possível concluir que a técnica HAI teve melhor desempenho na detecção de anticorpos anti-*T. gondii* quando comparada com a técnica MAT e que as infecções de galinha caipira por *T. gondii* são amplamente prevalentes na região sudoeste de Goiás.

PALAVRAS-CHAVE: Diagnóstico sorológico, galinhas caipiras, *Toxoplasma gondii*.

COMPARISON OF SEROLOGICAL METHODS FOR DETECTING ANTI-*Toxoplasma gondii* ANTIBODIES IN FREE-RANGE CHICKENS

ABSTRACT: Toxoplasmosis is an important zoonosis. Its etiological agent is the protozoan *Toxoplasma gondii*, which can parasitise humans and other vertebrates. Birds and mammals are the intermediate hosts and free-range chickens are important in the transmission of the disease because they are reservoirs of the parasite. In addition, they are considered sentinels for studies because they are birds that live exposed to the soil, which in turn may be contaminated. In diagnosis, serological agglutination tests help detect IgG anti-*T. gondii* antibodies. The aim was to assess the presence of anti-*T. gondii* antibodies in free-range chickens from the south-western region of the state of Goiás and to compare the effectiveness of the modified agglutination test (MAT) and the indirect haemagglutination test (HAI). The 25 serum samples from free-range chickens were tested for anti-*T. gondii* antibodies using two serological methods. The MAT test was carried out as described by Dubey and Desmonts (1980), For the determination of antibodies using the HAI technique, the commercial ToxoTest HAI WienerLab® kit was used, following the manufacturer's guidelines. Positive and negative controls were used for both methods to validate the reaction. Based on the test results, a 2x2 contingency table was drawn up to assess the following parameters: sensitivity (S), specificity (E), positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV). Using the HAI technique, 19 samples were found to be reactive for anti-*T. gondii* antibodies, i.e. 76% (19/25), with antibody titres ranging from 1:32 to 1:128, while the result obtained using the MAT technique showed 8 reactive samples, equivalent to 32% (8/25), with titres ranging from 1:20 to 1:160. The results of the calculated parameters were 16.67% (S), 68% (E), 11.11% (PPV) and 77.27% (NPV) respectively. It was possible to conclude that the HAI technique performed better in detecting anti-*T. gondii* antibodies when compared to the MAT technique and that *T. gondii* infections in free-range chickens are widely prevalent in the south-western region of Goiás.

KEYWORDS: Serological diagnosis, free-range chickens, *Toxoplasma gondii*.

INTRODUÇÃO

A Toxoplasmose é uma importante zoonose, seu agente etiológico é o protozoário *Toxoplasma gondii*, um parasito intracelular obrigatório que pode parasitar seres humanos e outros vertebrados, sendo um protozoário de importância médica, veterinária e de saúde pública (BARBOSA, HOLANDA, ANDRADE-NETO, 2009; FERNANDES et al., 2019).

Os animais de sangue quente podem ser hospedeiros intermediários para esse parasito, no entanto, o ciclo só é completado em membros da família *Felidae*, como os gatos, que são considerados hospedeiros definitivos e são fundamentais para o ciclo desse coccídeo. Aves e mamíferos são os hospedeiros intermediários e as galinhas, principalmente aquelas criadas em vida livre, conhecidas como galinhas caipiras possuem maior importância epidemiológica nas infecções por *T. gondii* no ambiente rural quando comparadas aos roedores, devido a sua resistência clínica e por terem mais tempo de vida. Além disso, são consideradas sentinelas para estudos por serem aves que vivem expostas ao solo, que por sua vez, pode estar contaminado com oocistos esporulados (DUBEY, 2008).

A transmissão do parasito ocorre pela ingestão de carne crua ou malcozida contendo cistos, ingestão acidental de oocistos presentes na água, via placenta, entre outros meios (SIBLEY et al., 2009). A patogenia está relacionada com o modo de infecção, susceptibilidade imunológica do indivíduo infectado e a cepa do protozoário. Com relação aos sintomas, geralmente é assintomática e os sinais clínicos podem aparecer em pacientes imunocomprometidos sendo a forma ocular a mais frequente (SANTOS, 2012; MURAT et al., 2013).

O estágio da toxoplasmose irá variar de acordo com a forma evolutiva do *T. gondii*, sabe-se que na fase aguda da infecção, encontram-se os taquizoítos, já na fase crônica e em infecções assintomáticas encontram-se os bradizoítos, que são caracterizados por possuir uma multiplicação lenta. Existem também os oocistos, estes representam a forma evolutiva eliminada nas fezes dos hospedeiros definitivos (ACHA & SZYFRES, 1987; SILVA, 2016).

São escassos os estudos comparando resultados sorológicos por diferentes testes para a detecção de anticorpos contra *T. gondii* em galinhas caipiras, e a avaliação da precisão de diferentes métodos geralmente se dá, através da comparação de seus resultados com aqueles de bioensaios em gatos ou camundongos, ou outros testes sorológicos de alta sensibilidade e especificidade esperadas (FERNANDES et al., 2019).

Dentre os diversos métodos sorológicos disponíveis, estão incluídos a reação de SabinFeldman ou teste do corante, reação de imunofluorescência indireta (RIFI), teste de aglutinação em látex, ensaio imunoenzimático (ELISA), reação de aglutinação por imunoabsorção (ISAGA) e os testes utilizados no trabalho que são hemaglutinação indireta (HAI) e o teste de aglutinação modificada (MAT), ambos apresentam alta sensibilidade e

simplicidade de execução (DUBEY, 2010).

Os testes de aglutinação contribuem consideravelmente na detecção de anticorpos IgG anti- *T. gondii* em humanos e também animais, o MAT tem demonstrado alta sensibilidade em várias espécies de hospedeiros, além de ser uma técnica que não necessita de equipamentos especiais ou reagentes espécie-específicos, o seu antígeno permanece estável por meses, no entanto o custo do kit é maior. O HAI, por sua vez, é adequado para levantamento epidemiológico, sua execução é mais simples, com velocidade de resultados mais rápida que o MAT e possui baixo custo. Porém, a detecção de anticorpos é considerada tardia, sendo assim, as infecções agudas podem não ser identificadas por este teste (DUBEY, 2010; BELTRAME et al., 2012).

Levando em consideração que um dos maiores fatores de contaminação humana se dá pela ingestão de carne crua ou mal cozida contendo cistos, é de grande relevância determinar a presença de parasitos teciduais em galinhas, assim como o seu risco de infecção para os seres humanos. Portanto, o trabalho teve como objetivo avaliar a presença de anticorpos anti- *T. gondii* em galinhas caipiras da região sudoeste do estado de Goiás e comparar a eficácia dos testes de MAT e HAI.

METODOLOGIA

Amostras das Galinhas: O trabalho desenvolvido foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEUA-Jataí), 010/2019. Visto que foi co-orientado pela Natália Domann, mestrandia do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde, Federal de Jataí, as amostras utilizadas foram oriundas do seu projeto *Toxoplasma gondii* em galinhas caipiras da região sudoeste de Goiás: soroprevalência, caracterização biológica e detecção molecular. Foram utilizadas, um total de 25 amostras de soro de galinhas caipiras, essas por sua vez, foram submetidas a pesquisa de anticorpos anti-*T. gondii*, por meio das técnicas de MAT e HAI.

Teste de Aglutinação Modificada (MAT): Os soros das galinhas foram submetidos a pesquisa de anticorpos da classe IgG anti-*T. gondii* segundo Desmonts e Remington (1980). Os soros foram testados puro e a diluição de 1:20, e as amostras positivas passaram por diluição seriada até 1:640. Para o procedimento foi utilizado microplacas com 96 poços de fundo chato (Corning®). Consideradas reagentes as diluições que formaram uma película ou malha em pelo menos 50% do fundo da cavidade da microplaca e não reagentes as diluições que formarem um botão compacto ou ocupando até 50% do fundo da cavidade. Em todas as microplacas foram testados soros controle positivo e negativo para auxílio à interpretação dos resultados.

Teste de Hemaglutinação Indireta (HAI): Foi realizado o teste HAI sem 2-mercaptoetanol (2-ME) com o ToxoTest HAI WienerLab®, seguindo as orientações do fabricante. Foram considerados reativos na presença de uma película ou manto cobrindo

50% ou mais do fundo das cavidades e não reativos na presença de um sedimento em forma de botão ou pequeno anel de bordas regulares. Os soros foram testados inicialmente a 1:32 e quando positivos, realizou-se diluições seriadas até 1:1024, para determinação da titulação de anticorpos.

Análise estatística: Diante dos resultados dos testes foi elaborada uma tabela de contingência 2x2 (Tabela 1) para a avaliação dos testes anteriormente mencionados e os seguintes parâmetros: sensibilidade (S), especificidade (E), valor preditivo positivo (VPP), valor preditivo negativo (VPN).

Teste		HAI		Total
		Positivo	Negativo	
MAT	Positivo	7	1	8
	Negativo	12	5	17
Total		19	6	50

Tabela 1: Resultados obtidos nos testes HAI e MAT e seus respectivos diagnósticos

De acordo com PEREIRA (1995), sensibilidade é a capacidade que o teste diagnóstico apresenta de detectar os indivíduos verdadeiramente positivos, especificidade a capacidade que o teste diagnóstico tem de detectar os verdadeiros negativos, valor preditivo positivo (VPP) é a proporção de doentes entre os positivos pelo teste e por fim, valor preditivo negativo (VPN) é a proporção de sadios entre os negativos ao teste. Os determinados cálculos foram realizados e gráficos foram plotados no programa Excel 2016®.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise das 25 amostras através da técnica de HAI, 19 amostras reagentes para anticorpos anti-*T. gondii*, ou seja, 76% (19/25) sendo que a titulação de anticorpos variou de 1:32 a 1:128 (Gráfico 1). Já o resultado obtido pela técnica de MAT, constatou 8 amostras reagentes, equivalente a 32% (8/25) e as titulações variaram de 1:20 a 1:160 (Gráfico 2).

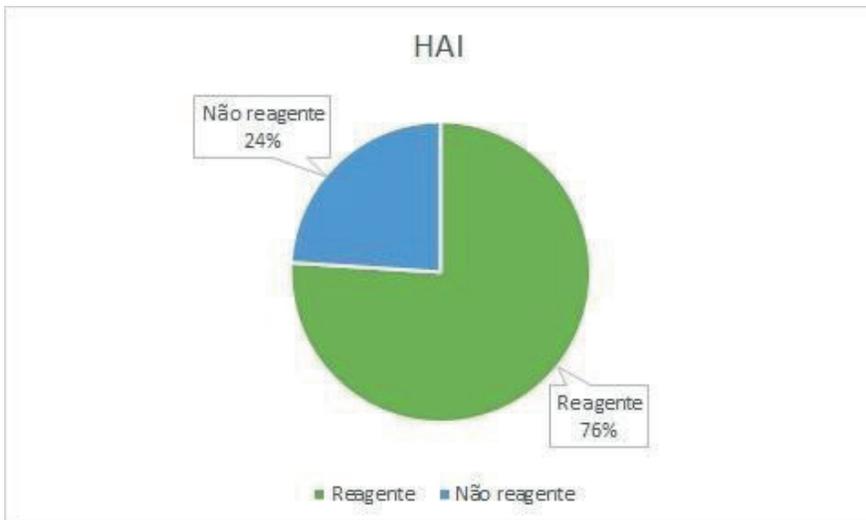


Gráfico 1: Resultado sorológico em porcentagem do teste HAI

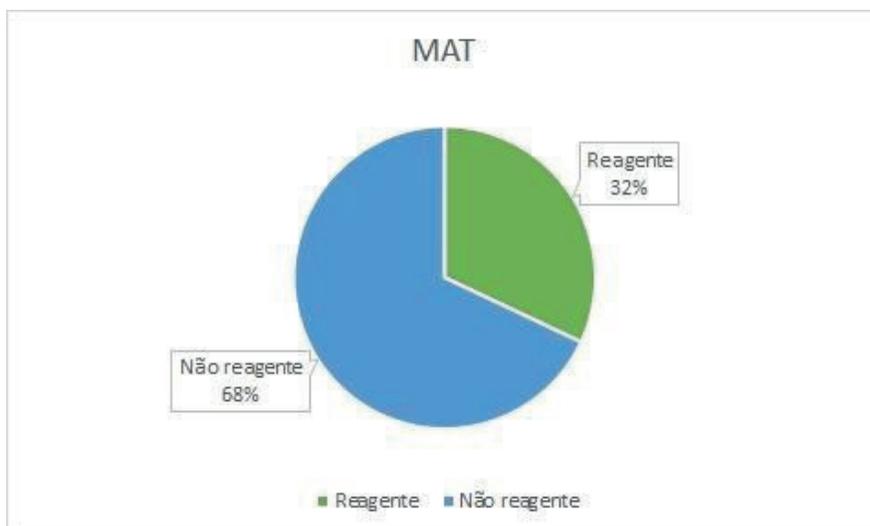


Gráfico 2: Resultado sorológico em porcentagem do teste MAT

Conforme demonstrado no gráfico abaixo os resultados dos parâmetros foram sensibilidade (S) 16,67%, especificidade (E) 68%, valor preditivo positivo (VPP) 11,11%, valor preditivo negativo (VPN) 77,27%.

Autores como Barcelos et al. (1997) em seu estudo avaliando o teste de hemaglutinação para toxoplasmose em aves domésticas do município de Santa Maria/RS e Araújo et al. (1989) no estudo de prevalência de anticorpos toxoplasmicos em frangos abatidos para consumo humano em Porto Alegre/RS, também utilizaram a técnica de HAI como padrão ouro em seus respectivos estudos.

Com relação a importância de estudos que avaliam prevalência, são de importância especialmente para saúde pública. Afinal, existem consequências graves dessa infecção, como lesões neurológicas e oftálmicas naqueles que são expostos durante a vida intrauterina e o crescente acometimento de pacientes imunocomprometidos. De acordo com Luiz e Zanna (2017), nestes hospedeiros imunocompetentes, a infecção é reativada em estados mais severos da doença, como a Toxoplasmose cerebral.

Levando em consideração que a prevalência da infecção em galinhas caipiras é um bom indicador da presença deste parasito no ambiente e no grupo estudado, foi identificada uma elevada taxa de contaminação, esse estudo demonstra que existe um risco para saúde humana pela transmissão através dessa espécie de reservatório.

CONCLUSÃO

Visto que foram utilizadas as mesmas amostras para a realização dos dois testes, diante dos resultados é possível concluir que a técnica HAI teve melhor desempenho na detecção de anticorpos anti-*T. gondii*, quando comparada com a técnica MAT. Por fim, o presente estudo revelou que as infecções de galinha caipira por *T. gondii* são amplamente prevalentes na região sudeste de Goiás. Diante disto e da grande relevância na saúde pública, é fundamental o diagnóstico para a comprovação da presença do parasito em galinhas caipiras, pois o consumo de carnes de frango que não possuem vistoria técnica pela vigilância é preocupante e afeta os consumidores finais.

REFERÊNCIAS

ACHA, P. N., SZYFRES, B. **Zoonoses and communicable diseases common to man and animals**, Scientific Publication, n. 503. Pan American Health Organization/ World Health Organization, Washington-EUA, 1987, 963 p.

ARAÚJO, F. A. P., ET AL., **Prevalência de anticorpos toxoplasmicos em frangos abatidos para consumo humano em Porto Alegre/RS**. Arq. Fac. Vet. UFRGS, Porto Alegre, v. 17, p. 23-28, 1989.

BARBOSA, I. R.; HOLANDA, C. M. C. X.; ANDRADE-NETO, V. F. **Toxoplasmosis screening and risk factors amongst pregnant females in Natal, northeastern, Brazil**. Transactions of Royal Society of Medicine and Hygiene, v. 103, n.4, p. 377-382, 2009.

BARCELOS, A. S. et al. **Hemaglutinação para toxoplasmose em aves domésticas do município de Santa Maria/RS**. IN: IV Jornada Integrada de Pesquisa, Extensão e Ensino da Universidade Federal de Santa Maria-RS. Anais, Santa Maria-RS, 1997, p 564.

BELTRAME, M.A.V. et al. **Seroprevalence and isolation of *Toxoplasma gondii* from free-range chickens from Espírito Santo state, southeastern Brazil**. Veterinary Parasitology, v.188, p.225– 230, 2012.

DESMONTS, G.; REMINGTON, J. **Direct agglutination test for diagnosis of *Toxoplasma* infection: method for increasing sensitivity and specificity.** Journal of Clinical Microbiology, USA, v. 11, n. 6, p. 562-568, 1980.

DUBEY, J. P. **The history of *Toxoplasma gondii*—the first 100 years.** The Journal of eukaryotic microbiology, v. 55, n°. 6, p. 467–75, 2008.

DUBEY, J.P. et al. **New *Toxoplasma gondii* genotypes isolated from free-range chickens from the Fernando de Noronha, Brazil: unexpected findings.** Journal of Parasitology, v.96, p.709-712, 2010.

FERNANDES S, BRILHANTE-SIMÕES P, COUTINHO T, CARDOSO L, DUBEY JP, LOPES AP. **Comparison of indirect and modified agglutination tests for detection of antibodies to *Toxoplasma gondii* in domestic cats.** J Vet Diagn Invest. 2019 Sep;31(5):774-777.

LUIZ, R.; ZANNA, D. **Estudo da resposta imune celular e humoral desencadeada por *Toxoplasma gondii* em camundongos A / Sn imunossuprimidos.** 2017.

MURAT, J.-B.; HIDALGO, H. F.; BRENIER-PINCHART, M.-P.; PELLOUX, H. **Human toxoplasmosis: which biological diagnostic tests are best suited to which clinical situations?** Expert review of anti-infective therapy, v. 11, n°. 09, p. 943–56, set, 2013.

PEREIRA, MG. **Epidemiologia: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro, Guanabara Koogan. 1995.

SANTOS, L. S. S., **Avaliação soroepidemiológica de *Toxoplasma gondii* em Humanos e sua relação com o convívio com Gatos (*Felis catus*) Como Animal de Estimação,** 59f. Dissertação (Mestrado em Parasitologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

SIBLEY, L. D.; KHAN, A.; AJIOKA, J. W.; ROSENTHAL, B. M. Genetic diversity of

SILVA, Patricia Vieira da. **Caracterização soroepidemiológica da infecção por *Toxoplasma gondii* em catadores de materiais recicláveis, Campo Grande, MS.** 2016. Dissertação de Mestrado.

SILVA, Samara dos Santos et al. **Estudo epidemiológico das infecções por *Toxoplasma gondii* em ovinos abatidos na Paraíba.** 2020. Dissertação pós-graduação Universidade Federal de Campina Grande.

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE AMEBICIDA DE DESINFETANTES DOMÉSTICOS EM *Acanthamoeba* spp

Data de submissão: 22/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

Júlia Batista Dornelas

Universidade Federal de Jataí, Insitudo de
Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/5329743071541429>

Stéfanne Rodrigues Rezende Ferreira

Universidade Federal de Jataí, Insitudo de
Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8396448559063761>

Edmar Gonçalves Pereira Filho

Universidade Federal de Jataí, Insitudo de
Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8851289557895457>

Marillia Lima Costa

Universidade Federal de Jataí, Insitudo de
Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8086940135787765>

Hanstter Hallison Alves Rezende

Universidade Federal de Jataí, Insitudo de
Ciências da Saúde, Curso de Biomedicina.
Jataí – GO
<http://lattes.cnpq.br/4982752673858886>

RESUMO: *Acanthamoeba* é um gênero de amebas de vida livre de crescente importância médica devido seu caráter oportunista. Isso porque este protozoário pode causar graves doenças como a encefalite amebiana granulomatosa, e a ceratite amebiana. Entretanto, não há uma medida profilática exata para evitar tais infecções, visto que é um microrganismo presente em praticamente todos os meios, e que pode servir como hospedeiro para outras bactérias patogênicas. Estudos relatando o efeito de substâncias utilizadas na desinfecção doméstica podem ser interessantes para oferecer uma profilaxia prática e de fácil acesso à população. Realizar uma revisão de literatura narrativa acerca do tema, abordando a efetividade de substâncias desinfetantes com potencial amebicida. A pesquisa dos artigos foi realizada a partir das bases de dados SCOPUS e também no Google Acadêmico, utilizando-se descritores como: “*Acanthamoeba* spp.”, “amebas de vida livre”, “desinfetantes”, “desinfetantes domésticos”, “biocidas” e “desinfecção”, “vinagre” e “hipoclorito de sódio” tanto em inglês como em português. Então, foram selecionados aqueles de interesse, que abrangessem o assunto principal do

trabalho. Foram avaliados quatro artigos, sendo um deles a respeito da ação do vinagre, e os demais de soluções de hipoclorito de sódio em diferentes concentrações. No primeiro caso, os resultados apresentados foram promissores, embora apenas uma cepa de *Acanthamoeba* tenha sido avaliada. No outro caso, dos três estudos avaliando o efeito do hipoclorito, apenas um apresentou resultados indicando resistência do parasito, em que foi utilizada uma solução de 0,01%. Nos próximos, foram estudadas soluções de 0,25% e 2,5%, observando-se o efeito amebicida. A quantidade de estudos a esse respeito se mostrou escassa, visto sua importância na profilaxia da população. Embora mais pesquisas nesse sentido sejam necessárias, as já realizadas se mostraram promissoras, apresentando um caminho para consolidar o efeito destas substâncias.

PALAVRAS-CHAVE: Amebas de vida livre, Desinfecção, Profilaxia.

EVALUATION OF THE AMOEBICIDAL ACTIVITY OF HOUSEHOLD DISINFECTANTS ON *Acanthamoeba* spp

ABSTRACT: *Acanthamoeba* is a genus of free-living amoebas of growing medical importance due to its opportunistic nature. This is because this protozoan can cause serious diseases such as granulomatous amoebic encephalitis and amoebic keratitis. However, there is no exact prophylactic measure to prevent such infections, since it is a microorganism that is present in practically all environments and can serve as a host for other pathogenic bacteria. Studies reporting on the effect of substances used in household disinfection may be interesting in offering practical and easily accessible prophylaxis to the population. To carry out a narrative literature review on the subject, addressing the effectiveness of disinfectant substances with amoebicidal potential. Articles were searched using the SCOPUS database and Google Scholar, using descriptors such as: 'Acanthamoeba spp.', 'free-living amoebas', 'disinfectants', 'household disinfectants', 'biocides' and 'disinfection', 'vinegar' and 'sodium hypochlorite' in both English and Portuguese. Those of interest that covered the main subject of the study were then selected. Four articles were evaluated, one of which was about the action of vinegar, and the others about sodium hypochlorite solutions in different concentrations. In the first case, the results presented were promising, although only one strain of *Acanthamoeba* was evaluated. In the other case, of the three studies evaluating the effect of hypochlorite, only one showed results indicating parasite resistance, in which a 0.01% solution was used. In the following studies, 0.25% and 2.5% solutions were used and the amoebicidal effect was observed. The number of studies on this subject has been scarce, given its importance in population prophylaxis. Although more research in this area is needed, the ones already carried out have proved promising, showing a way to consolidate the effect of these substances.

KEYWORDS: Free-living amoebas, Disinfection, Prophylaxis.

INTRODUÇÃO

Acanthamoeba é o gênero de amebas de vida livre (AVL) mais presente na natureza. Trata-se de protozoários anfizóicos, podendo viver livremente ou atuar de forma patogênica. Além disso, são encontrados em diversos meios, como solo, água e ar, e podem sobreviver em diferentes ambientes como esgoto, ambientes hospitalares, soluções de lentes de

contato, entre outros (SIDDQUI; KHAN, 2012; MARCIANO-CABRAL; CABRAL, 2003).

O ciclo de vida de *Acanthamoeba* spp. consiste em dois estágios, sendo eles trofozoíto e cisto. O trofozoíto representa a forma ativa, que se alimenta principalmente por meio de fagocitose de bactérias, algas e leveduras. Sua superfície forma estruturas denominadas acantopodias, que possuem função de adesão em superfícies e movimentos celulares. (CALIXTO, et al., 2014; KHAN, 2006). Devido a condições ambientais adversas, como falta de alimento, alterações de temperatura e pH, tratamento com agentes terapêuticos, entre outros, o cisto é formado, sendo considerado uma forma de resistência do parasito no ambiente. Este é caracterizado pela presença de dupla parede na sua estrutura, com poros que monitoram as condições do ambiente para que o parasito possa voltar à forma ativa, processo chamado de excistamento (CALIXTO, et al., 2014; CASTRILLÓN; OROZCO, 2013).

Como as espécies de *Acanthamoeba* estão presentes em diversos meios, os seres humanos podem entrar em contato com esse parasito facilmente. Dessa forma, tornam-se suscetíveis à duas principais doenças: a encefalite amebiana granulomatosa (EAG) e a ceratite amebiana. Além disso, podem ocorrer infecções nasofaríngeas e cutâneas (SCHUSTER; VISVESVARA, 2004).

A encefalite amebiana granulomatosa é caracterizada pela presença de cistos no Sistema Nervoso Central, sendo mais incidente em pacientes imunocomprometidos. Geralmente o cérebro apresenta extenso edema e necrose hemorrágica. Dentre os sintomas apresentados, estão dores de cabeça, rigidez na nuca, náuseas, convulsões, e até mesmo coma. É uma doença rara, de rápido desenvolvimento no estágio agudo, sendo fatal em semanas. (KALRA, et al., 2020; VISVESVARA; MOURA; SHUSTER, 2007).

Já a ceratite amebiana ocorre a partir da penetração do protozoário através de lesões preexistentes na córnea, causando uma infecção. Por esse motivo, usuários de lentes de contato são considerados um grupo de risco para a doença, embora não acometa apenas estes indivíduos. Os principais sintomas apresentados são dor intensa, fotofobia, vermelhidão e lacrimejo (KOT; LANOCHA-ARENDARCZYK; KOSIK-BOGACKA, 2018; LORENZO-MORALES; KHAN; WALOCHNIK; 2015).

Estudos indicando resistência dos cistos de *Acanthamoeba* à desinfetantes utilizados no tratamento de água, bem como ao cloro são constantemente realizados (CERVERO-ARAGÓ, et al., 2015; DUPUY, et al., 2014). Além disso, o microrganismo apresenta resistência à desinfetantes hospitalares e soluções utilizadas para desinfecção de lentes de contato (COULON, et al., 2010; HITI et al., 2005; PADZIK, et al., 2018).

Por se tratar de um parasito presente em diversos meios, bem como apresentar resistência a diversas substâncias químicas, estudos evidenciando o efeito das principais soluções desinfetantes utilizadas pela população em geral, contra *Acanthamoeba*, são essenciais. Sabe-se que a infecção por ingestão de alimentos não é muito comum, porém é relevante visto a vulnerabilidade dos indivíduos mais suscetíveis, bem como o fato de que

a ameba atua como hospedeiro para outros microrganismos patogênicos (VISVESVARA; MOURA; SHUSTER, 2007).

Portanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão de literatura narrativa acerca do tema, abordando a efetividade de substâncias desinfetantes com potencial amebicida.

METODOLOGIA

O estudo experimental, previsto inicialmente no plano de trabalho não foi concluído pois, o cultivo das amostras coletadas positivas, ou sugestivas de *Acanthamoeba* spp. não produziu os resultados esperados. Dessa forma, não foi possível realizar a testagem dos produtos a fim de avaliar seu efeito amebicida, sendo realizada então a presente revisão bibliográfica narrativa.

Os artigos foram definidos a partir de busca na base de dados SCOPUS e também no Google Acadêmico. Para tanto foram utilizadas as palavras-chave “*Acanthamoeba* spp.”, “amebas de vida livre”, “desinfetantes”, “desinfetantes domésticos”, “biocidas” e “desinfecção”, “vinagre” e “hipoclorito de sódio” tanto em inglês como em português. A partir dos resultados das buscas, foram selecionados apenas aqueles de interesse, que abrangessem o assunto principal do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa resultou em 451 artigos no total. Destes foram selecionados quatro que, a partir da leitura daqueles previamente disponíveis (principalmente dos resumos mas, quando necessário, da metodologia), foram priorizados aqueles que apresentaram a testagem de soluções desinfetantes domésticas em espécies de *Acanthamoeba*.

Dessa forma, um dos artigos analisou o efeito do vinagre em uma cepa de *Acanthamoeba astronyxis*. Os outros três artigos abordaram o uso de soluções de hipoclorito de sódio em diferentes concentrações, e em diferentes cepas de *Acanthamoeba* spp.

O trabalho de Eldin, Sahran e Kayyal (2019) avaliou o impacto do vinagre em cistos e trofozoitos de *Acanthamoeba astronyxis*, relacionando diferentes concentrações, tempo de exposição e além da comparação com a clorexidina (uma das soluções utilizadas em desinfecção de lentes de contato). Esse foi o primeiro estudo avaliando o vinagre 5% como uma solução antiamebicida.

A partir desse experimento, observaram que a diluição com maior concentração de vinagre (5%) foi apresentou maior eficácia, enquanto a de menor concentração (0,04%) possuiu menor eficácia. A solução de maior concentração apresentou também uma atividade de redução na contagem de cistos nos primeiros 10 e 20 minutos muito maior do que as demais concentrações, porém as concentrações de 5%, 2,5% e 1,25% tiveram

atividade semelhante com o passar do tempo. Apesar disso, ao final de 60 minutos até mesmo a solução de menor concentração possuía uma contagem nula de cistos de *A. astronyxis*. Ademais, em todas as concentrações o vinagre apresentou uma contagem de cistos inviáveis maior do que o controle de clorexidina.

Outro resultado relevante apresentado por este estudo foram as alterações morfológicas causadas pelo vinagre, tanto nos cistos como nos trofozoítos de *A. astronyxis*. Enquanto os cistos tiveram alteração na parede celular com retração do conteúdo, os trofozoítos apresentaram achatamento de acantopodias, degradação do conteúdo citoplasmático e diluição da membrana plasmática.

Estes resultados mostram que o vinagre possui eficácia contra uma espécie de *Acanthamoeba*, indicando que pode ser eficaz também contra outras espécies, embora tratamentos possam ter efeitos diversos em diferentes cepas (CERVERO-ARAGÓ et al., 2015). Um estudo prévio testando a eficácia do vinagre em cistos de *Giardia duodenalis* demonstrou a eliminação dos cistos com o vinagre não diluído, porém foi observado que quanto maior a diluição, menor o efeito (COSTA et al., 2009). Isso indica que nos próximos estudos de viabilidade contra *Acanthamoeba* seria interessante realizar a análise da diluição, visto que o vinagre puro é raramente utilizado na desinfecção doméstica.

Além disso, García et al. (2011) realizaram um trabalho de isolamento de amebas de vida-livre, em que dentre 7 espécies isoladas, cinco pertenciam ao gênero *Acanthamoeba*. Nesse estudo, os isolados foram testados com uma solução de hipoclorito de sódio na concentração de 100 ppm, ou 0,01%, por 24h. Entretanto, o efeito amebicida não foi visualizado em nenhum isolado, provavelmente devido à baixa concentração.

Em discordância, Coulon et al. (2010) testaram soluções de hipoclorito de sódio, nas concentrações de 0,25% e 2,5%, em nove diferentes cepas de *Acanthamoeba*, sendo seis delas isoladas do ambiente. Os isolados foram submetidos ao teste durante 30 minutos. A solução de 2,5% matou todos os cistos existentes em apenas 10 minutos de exposição, enquanto a solução de 0,25% requereu uma exposição de 20 minutos para atingir 7 das 9 cepas. Ao final dos 30 minutos, uma cepa do ambiente ainda foi resistente ao hipoclorito de sódio 0,25%.

Ademais, Coulon et al. (2012) utilizaram soluções de 0,25% de hipoclorito de sódio por 30 minutos em quatro cepas de *Acanthamoeba*, isoladas em meio de cultura e meio celular. Foi observado que os cistos apresentaram uma aparência inchada e com cristas, provavelmente pela ação do biocida na parede interna. Além disso, as cepas isoladas em meio celular apresentaram uma maior resistência ao tratamento com hipoclorito de sódio. Hughes et al. (2003) demonstraram que fatores como tempo e método de isolamento, bem como preparação das cepas, causam divergências na ação de soluções desinfetantes.

Ambos resultados indicam que o hipoclorito de sódio na forma comercial pode ser eficaz contra cistos de *Acanthamoeba*, já que a água sanitária apresenta uma diluição semelhante à observada no segundo estudo.

CONCLUSÃO

A partir da pesquisa realizada e dos artigos analisados, percebe-se que estudos abordando a eficácia de desinfetantes domésticos em *Acanthamoeba* spp. São escassos, visto sua importância para estabelecimento de uma profilaxia eficaz. Entretanto, constata-se que vinagre e hipoclorito de sódio são promissores na desinfecção, principalmente de alimentos, embora sejam necessários mais estudos para entender seus mecanismos de ação e para consolidar sua eficácia.

REFERÊNCIAS

- CALIXTO, P. H. M.; TRINDADE, F. R.; BALLARINI, A. J.; DIAS, C. A. G. M.; CAMPOS, C. E. C.; OLIVEIRA, J. C. S. de. **Aspectos biológicos das principais amebas de vida-livre de importância médica.** *Biota Amazônica*, v. 4, n. 2, p. 124-129, 2014.
- CASTRILLÓN, J. C.; OROZCO, L. P. ***Acanthamoeba* spp. como parasitos patógenos y oportunistas.** *Revista Chilena de Infectología*, v. 30, n. 2, p. 147-155, 2013.
- CERVERO-ARAGÓ, S.; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, S.; PUERTAS-BENNASAR, A.; ARAUJO, R. M. **Effect of common drinking water disinfectants, chlorine and heat, on free Legionella and Amoebae-Associated Legionella.** *PLOS ONE*, 18 p., 2015.
- COSTA, A. O.; THOMAS-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. de. **Effect of vinegar on the viability of *Giardia duodenalis* cysts.** *International Journal of Food Microbiology*, v. 128, p. 510-512, 2009.
- COULON, C.; COLLIGNON, A.; MCDONNELL, G.; THOMAS, V. **Resistance of *Acanthamoeba* Cysts to Disinfection Treatment Used in Health Care Settings.** *Journal of Clinical Microbiology*, v. 48, n. 8, p. 2689-2697, 2010.
- COULON, C.; DECHAMPS, N.; MEYLHEUC, T.; COLLIGNON, A.; MCDONNELL, G.; THOMAS, V. **The Effect of *In Vitro* Growth Conditions on the Resistance of *Acanthamoeba* Cysts.** *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. 9, n. 3, p. 198-205, 2012.
- ELDIN, H. M. E.; SARHAN, R. M.; KHAYYAL, A. E. **The impact of vinegar on pathogenic *Acanthamoeba astronyxis* isolate.** *Journal of Parasitic Diseases*, v. 43, n. 3, p. 351-359, 2019.
- GARCÍA, A.; GOÑI, P.; CLAVEL, A.; LOBEZ, S.; FERNANDEZ, M. T.; ORMAD, M. P. **Potentially pathogenic free-living amoebae (FLA) isolated in Spanish wastewater treatment plants.** *Environmental Microbiology Reports*, v. 3, n. 5, p. 622-626, 2011.
- HITI, K.; WALOCHNIK, J.; FASCHINGER, C.; HALLER-SCHÖBER, E. M.; ASPÖCK, H. **One- and two-step hydrogen peroxide contact lens disinfection solutions against *Acanthamoeba*: How effective are they?** *Eye*, v. 19, p. 1301-1305, 2005.
- HUGHES, R.; HEASELGRAVE, W.; KILVINGTON, S. ***Acanthamoeba polyphaga* strain age and method of cyst production influence the observed efficacy of therapeutic agents and contact lens disinfectants.** *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 47, n. 10, p. 3080-3084, 2003.

KALRA, S. K.; SHARMA, P.; SHYAM, K.; TEJAN, N.; GHOSHAL, U. ***Acanthamoeba* and its pathogenic role in granulomatous amebic encephalitis.** *Experimental Parasitology*, v. 208, 11 p., 2020.

KHAN, N. A. ***Acanthamoeba*: biology and increasing importance in human health.** *FEMS Microbiology Reviews*, v. 30, p. 564-595, 2006.

KOT, K.; LANOCHA-ARENDARCZYK, N. A.; KOSIK-BOGACKA, D. I. **Amoebas from the genus *Acanthamoeba* and their pathogenic properties.** *Annals of Parasitology*, v. 64, n. 4, p. 299-308, 2018.

MARCIANO-CABRAL, F.; CABRAL, G. ***Acanthamoeba spp.* as agents of disease in humans.** *Clinical Microbiology Reviews*, v. 16, n. 2, p. 273-307, 2003.

PADZIK, M.; BALTAZA, W.; SZAFLIK, J. P.; HENDIGER, E.; DYBICZ, M.; CHOMICZ, L. **Comparison of chlorhexidine disinfectant *in vitro* effect on environmental and ocular *Acanthamoeba* strains, the amoebic agents of human keratitis – an emerging sight-threatening corneal disease in Poland.** *Annals of Parasitology*, v. 64, n. 3, p. 229-233, 2018.

SCHUSTER, F. L.; VISVESVARA, G. S. **Free-living amoebae as opportunistic and non-opportunistic pathogens of humans and animals.** *International Journal of Parasitology*, v. 34, p. 1001-1027, 2004.

SIDDIQUI, R.; KHAN, N. A. **Biology and pathogenesis of *Acanthamoeba*.** *Parasites & Vectors*, v. 5, n. 6, 13 p., 2012.

VISVESVARA, G. S.; MOURA, H.; SCHUSTER, F. L. **Pathogenic and opportunistic free-living amoebae: *Acanthamoeba spp.*, *Balamuthia mandrillaris*, *Naegleria fowleri*, and *Sappinia diploidea*.** *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, v. 50, p. 1-26, 2007.

A SERVITIZAÇÃO E A DIGITALIZAÇÃO NA LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS: CAMINHOS PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL E INOVADORA

Data de submissão: 08/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

Priscila Carvalho Marques

IFSul campus Pelotas

Lucas Leal Perez

IFSul campus Pelotas

Dener Kisner Borges

IFSul campus Pelotas

Andrei Gomez Caetano

IFSul campus Pelotas

Rafaela Martins Kaist

IFSul campus Pelotas

Leonardo Betemps Kontz

IFSul campus Pelotas

(ODS 9). Nesse contexto, a logística reversa de pneus é fundamental para mitigar impactos ambientais, reintegrando resíduos ao ciclo produtivo e promovendo a economia circular (Dev et al., 2020).

No Brasil, cerca de 40% dos pneus descartados não recebem a destinação adequada (MMA, 2020), resultando em contaminação do solo e da água, além de potenciais focos de doenças. Tecnologias digitais, como Internet das Coisas (IoT), blockchain e inteligência artificial (IA), oferecem soluções para rastreabilidade e eficiência na coleta e reciclagem, otimizando operações logísticas (Liu et al., 2021; Kayikci, 2018). A servitização transforma a gestão de produtos em serviços, incentivando empresas a assumirem responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos e promovendo modelos de negócios sustentáveis (Sun et al., 2021).

1 | INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais do descarte inadequado de resíduos tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis. A Agenda 2030 da ONU estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando a promoção de padrões de produção e consumo responsáveis (ODS 12) e a inovação na infraestrutura

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Analisar como a combinação de servitização e digitalização pode aprimorar a eficiência da logística reversa de pneus, promovendo uma economia circular e sustentável, com ênfase na utilização de pneus reciclados como combustível em fornos de clínquer.

2.2 Objetivos Específicos:

Identificar os principais desafios e inovações tecnológicas na logística reversa de pneus no Brasil, com foco em IoT, blockchain e IA.

Avaliar os impactos da digitalização na rastreabilidade, eficiência operacional e sustentabilidade da logística reversa.

3 | JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O descarte inadequado de pneus compromete o meio ambiente e a saúde pública. A digitalização da logística reversa, utilizando tecnologias emergentes, permite um monitoramento eficaz dos resíduos, aumentando a transparência e promovendo uma gestão sustentável. A servitização abre novas oportunidades de negócios, como o leasing de pneus, que prolonga a vida útil dos produtos e reduz a necessidade de produção de novos pneus. A utilização de pneus reciclados como combustível em fornos de clínquer e na construção civil representa uma alternativa prática e inovadora, alinhando-se aos ODS e contribuindo para a sustentabilidade das operações (Maddikunta et al., 2021).

4 | REVISÃO DE LITERATURA

A logística reversa de pneus é um tema de crescente relevância no contexto da sustentabilidade e da economia circular. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece diretrizes para a coleta, triagem e destinação correta de pneus, visando minimizar os impactos ambientais do descarte inadequado. Apesar da regulamentação, a falta de rastreabilidade e os altos custos associados à logística reversa ainda representam desafios significativos para a efetividade dessa prática. Nesse sentido, a integração de tecnologias digitais, a servitização e a digitalização são abordagens promissoras que podem contribuir para a superação dessas barreiras.

A logística reversa de pneus é o processo que envolve a movimentação dos pneus usados desde o ponto de consumo até a sua destinação final, que pode incluir a reciclagem ou o reaproveitamento (Breque et al., 2021). Este processo é regulado pela PNRS, que estabelece responsabilidades para fabricantes, importadores, distribuidores e consumidores. Apesar das regulamentações existentes, a realidade no Brasil ainda é

desafiadora: estima-se que cerca de 40% dos pneus descartados não recebem a destinação adequada, resultando em sérios problemas ambientais, como a contaminação do solo e a poluição da água (MMA, 2020).

Os principais desafios enfrentados na logística reversa de pneus incluem a falta de infraestrutura adequada para a coleta e a triagem, além da resistência à mudança por parte das empresas. A baixa adesão a práticas sustentáveis e a dificuldade em monitorar o fluxo de resíduos são questões que dificultam a implementação efetiva da logística reversa. Nesse contexto, as tecnologias digitais surgem como ferramentas essenciais para melhorar a rastreabilidade e a eficiência operacional.

4.1 Servitização e Digitalização

A servitização, entendida como a transformação de produtos em serviços, tem o potencial de revolucionar o setor de pneus. Essa abordagem oferece soluções inovadoras, como o leasing de pneus e contratos de manutenção preditiva, que promovem a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida dos produtos (Sun et al., 2021). No modelo de leasing, as empresas mantêm a propriedade dos pneus e oferecem o uso desses produtos a seus clientes, garantindo que, ao final de sua vida útil, os pneus sejam retornados para reciclagem ou reaproveitamento.

Esse modelo de negócios não apenas reduz o desperdício, mas também gera novas oportunidades de receita e promove uma relação de responsabilidade entre o fornecedor e o cliente. A servitização também incentiva as empresas a se tornarem mais inovadoras e a investirem em tecnologias que melhorem a eficiência e a sustentabilidade de suas operações.

A digitalização, por sua vez, refere-se à adoção de tecnologias digitais que transformam processos e práticas empresariais. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), blockchain e inteligência artificial (IA) estão se tornando cada vez mais importantes na logística reversa (Liu et al., 2021). A IoT, por exemplo, permite o monitoramento em tempo real de volumes e locais de descarte de pneus, oferecendo dados valiosos para a tomada de decisões e para a otimização das operações logísticas.

A tecnologia blockchain assegura a integridade e a segurança das informações ao longo da cadeia de suprimentos, promovendo transparência e confiança entre os envolvidos no processo. Além disso, a IA é capaz de otimizar processos logísticos, melhorando a previsão de demanda e a alocação de recursos. Essas tecnologias, quando integradas à logística reversa de pneus, podem aumentar significativamente a eficiência operacional, reduzir custos e minimizar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

4.2 Integração de Servitização e Digitalização na Logística Reversa de Pneus

A combinação da servitização com a digitalização pode resultar em um modelo de negócios mais sustentável e eficiente. A utilização de tecnologias digitais para monitorar o uso de pneus em contratos de leasing, por exemplo, permite um gerenciamento proativo do ciclo de vida do produto. As informações obtidas através da IoT podem ser utilizadas para prever a necessidade de manutenção, reduzir o tempo de inatividade e aumentar a eficiência operacional.

Além disso, a digitalização pode facilitar a implementação de práticas de economia circular, permitindo que as empresas reintroduzam pneus reciclados na cadeia produtiva. A adoção de modelos de negócios baseados em serviços, aliados ao uso de tecnologias digitais, pode gerar uma sinergia que não apenas melhora a rentabilidade das empresas, mas também contribui para um futuro mais sustentável.

5 | METODOLOGIA

Este estudo adotará uma abordagem exploratória a partir do estudo de caso.

As principais etapas incluem:

- Entrevistas: Realização de entrevistas com gestores de empresas de pneus e indústrias que realizam logística reversa e descarte de pneus em fornos de clínquer em Santa Catarina, visando coletar perspectivas sobre desafios e oportunidades na implementação de tecnologias digitais.
- Estudo de caso: As empresas analisadas incluem:
 - Pirelli: Conhecida por suas iniciativas em logística reversa e sustentabilidade.
 - Michelin: Implementa práticas de descarte sustentável e reciclagem de pneus.
 - Reciclanip: Focada na coleta e reciclagem de pneus inservíveis, contribuindo para o descarte adequado.
 - Cimentos Liz: Utiliza pneus como fonte alternativa de energia em seus fornos de clínquer.
- Análise Comparativa: Comparação entre empresas que implementaram soluções digitais em suas operações e aquelas que utilizam métodos tradicionais, avaliando a eficiência, impacto ambiental e viabilidade econômica das práticas adotadas.

6 | RESULTADOS

Os resultados obtidos revelaram insights significativos sobre a integração de tecnologias digitais na logística reversa de pneus:

Identificou-se que as principais barreiras à implementação eficaz da logística reversa

de pneus incluem a falta de infraestrutura adequada e a resistência à mudança por parte das empresas. No entanto, inovações como plataformas de rastreamento e sistemas de monitoramento em tempo real têm mostrado grande potencial para otimizar a coleta e reciclagem de pneus.

A digitalização demonstrou aumentar significativamente a rastreabilidade e a eficiência operacional. Empresas que adotaram tecnologias como IoT e blockchain reportaram melhorias na redução de custos operacionais e no tempo de resposta nas operações logísticas.

A análise revelou que a servitização não apenas transforma a gestão de resíduos, mas também cria novas oportunidades de receitas por meio de modelos de negócios baseados em serviços, como leasing de pneus e manutenção preditiva, que incentivam a reutilização e reciclagem.

7 | CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a digitalização e a servitização têm o potencial de transformar a logística reversa de pneus em um processo mais eficiente e sustentável. Tecnologias como IoT, blockchain e IA não apenas aprimoram a rastreabilidade, mas também abrem novas oportunidades de negócios que beneficiam empresas e o meio ambiente. A utilização de pneus reciclados na indústria e na construção civil contribui para a redução de resíduos e a valorização de materiais, alinhando-se com os ODS da ONU. Todas as inovações discutidas ressaltam a urgência de ações imediatas para que a economia circular se torne uma realidade concreta. O futuro é agora.

REFERÊNCIAS

BREQUE, M. et al. Industry 5.0: **Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry**. European Commission, 2021.

JAFARI, N. et al. Moving from Industry 4.0 to Industry5.0: Implications for Smart Logistics. *Logistics*, v. 6, n. 2, p. 26, 2022. DOI: 10.3390/logistics6020026.

MADDIKUNTA, P. K. R. et al. Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 26, p. 100257, 2021. DOI: 10.1016/j.jii.2021.100257.

DEV, N. K. et al. Industry 4.0 and Circular Economy: **Operational Excellence for Sustainable Reverse SupplyChain Performance. Resources, Conservation & Recycling**, v. 153, p. 104583, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104583.

LIU, M. et al. Review of Digital Twin about Concepts, Technologies, and Industrial Applications. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 58, p. 346–361, 2021. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.07.010.

CLÉCIO DANILLO DIAS DA SILVA - Doutor em Sistemática e Evolução (2023) e Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (2018) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Além disso, possui especialização em Ensino de Ciências Naturais e Matemática (2017), Educação Ambiental e Geografia do Semiárido (2019) e Gestão Ambiental (2021) pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). É licenciado em Ciências Biológicas (2016) pelo Centro Universitário Facex (UNIFACEX) e em Pedagogia (2021) pelo Centro Universitário Internacional UNINTER. Atualmente, é docente dos componentes curriculares de Ciências e Biologia pela Secretaria de Estado da Educação (SEEC-RN) e Secretaria Municipal de Educação, Cultura e Esporte (SECE) de Barra de Maxaraguape-RN. Está vinculado ao Laboratório de Sistemática de Collembola (COLLEMBOLAB) do Departamento de Botânica e Zoologia do Centro de Biociências (DBEZ- CB), onde conduz pesquisas envolvendo Ecologia taxonômica, funcional e descrições de novas espécies de Collembola. Sua trajetória profissional e acadêmica abrange experiência em Zoologia de Invertebrados, Ecologia aplicada, Fauna edáfica, Taxonomia e Ecologia de Collembola; Ensino de Ciências e Educação Ambiental.

DANIELE BEZERRA DOS SANTOS - Graduada em Ciências Biológicas (2005), Mestrado em Ecologia (2007) e Doutorado em Psicobiologia (2013) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Docente e pesquisadora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Pau dos Ferros. Atualmente é Assessora Técnica de Gestão de Projetos, junto a Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional (PRODES/IFRN). Anteriormente, atuou como: Coordenadora de Pesquisa e Inovação - COPEIN/IFRN (2020-2021); Coordenadora do Curso de Pós-Graduação Lato sensu Especialização em ensino de Ciências Naturais e Matemática (2019-2020); Coordenadora de Pesquisa e Extensão do Centro Universitário Facex (UniFacex); Coordenadora do curso de graduação Licenciatura em Ciências Biológicas; Coordenadora dos cursos de Pós Graduação Lato sensu (Especialização) em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Naturais; (UniFacex) e do curso de Especialização em Microbiologia e Parasitologia (UniFacex). Atuou como Bolsista pela CAPES na função de Coordenadora Institucional do PIBID Edital 61/2013, de 2014 a 2018. Áreas de interesse: Ensino, Meio Ambiente, Comportamento Animal.

A

Acanthamoeba 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Agente etiológico 33, 35

Amebas 41, 42, 44, 45, 46

Amilases 4, 10

Anticorpos 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39

Atividades industriais 2, 3

B

Bactérias 3, 15, 41, 43

Brassinosteróides 16

C

Ciclo produtivo 48

Cistos 35, 36, 43, 44, 45

Combustível 49

Cultivo 6, 9, 20, 25, 26, 28, 30, 32, 44

D

Digitalização 48, 49, 50, 51, 52

E

Economia circular 48, 49, 51, 52

Encefalite 41, 43

Estresse hídrico 4, 5, 6, 11, 12, 17, 18, 21

Estresses abióticos 3, 4, 13, 14

F

Fisiologia 1, 2, 3, 4, 15, 19, 21, 23

Fitohormônios 3, 15, 17

G

Genes 10, 14, 15, 21, 22

Germinação de sementes 2, 5, 6, 15, 16, 21

Gestão de produtos 48

Gestão sustentável 49

H

Hospedeiros definitivos 35

Hospedeiros intermediários 33, 35

I

Impactos ambientais 48, 49, 50

Inteligência artificial 48, 50

L

Lipases 10

Logística reversa 48, 49, 50, 51, 52

M

Macrobrachium rosenbergii 25, 26, 27, 30, 31, 32

Meio ambiente 49, 52, 53

Metabolismo enzimático 4

Metais pesados 3, 7, 8, 9, 10, 14, 15

Métodos sorológicos 33, 35

Microrganismo 41, 43

O

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 48

Osmorreguladores 10, 13, 15, 19

P

Peroxidação 13, 15, 16

Plantas 2, 3, 4, 6, 11, 13, 14, 17, 20, 21

Pneus 48, 49, 50, 51, 52

Profilaxia 41, 42, 46

Proteases 10, 15

Protozoário 33, 35, 41, 43

S

Salinidade 2, 3, 6, 7, 11, 17, 18, 19, 22

Saúde 8, 33, 35, 36, 39, 41, 49

Sementes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23

Servitização 48, 49, 50, 51, 52

T

Tecnologias digitais 48, 49, 50, 51

Testes de aglutinação 33, 36

Toxoplasma gondii 33, 34, 35, 36, 39, 40

Toxoplasmose 33, 35, 38, 39

Trofozoíto 43

Z

Zoonose 33, 35

Explorando fronteiras nas Ciências Biológicas 2

-  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 2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br