

TÓPICOS EM CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

VOLUME VII



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Tópicos em ciências exatas e da Terra

7^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

7ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238T Tópicos em ciências exatas e da Terra

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2025

147 f.: il

DOI: 10.37423/2025.edcl1099

ISBN: 978-65-5367-626-8

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. matemática 2. física 3. química 4. geociências 5. ciências-da-computação I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 30

<https://doi.org/10.37423/2025.edcl1099>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

CAPÍTULO 1	6
TRANSFORMAÇÃO VERDE: UMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA INOVADORA NO ENSINO FUNDAMENTAL	
Wagner Pereira de Souza	
Mauricy de Oliveira Rosa Shorr	
DOI 10.37423/250309750	
CAPÍTULO 2	20
MULHERES RURAIS RIBEIRINHAS DA AMAZÔNIA E COLONIALIDADES	
Tainá Trindade Pinheiro	
Jackeline Marques Araújo Gurgel	
DOI 10.37423/250309784	
CAPÍTULO 3	37
ESTUDO NUMÉRICO DO ARREFECIMENTO TÉRMICO DE UM GERADOR EÓLICO DE IMÃ PERMANENTE	
Gustavo Martinho Sampaio Ito	
Francisco Augusto Aparecido Gomes	
DOI 10.37423/250309826	
CAPÍTULO 4	68
EUPHORBIA TIRUCALLI NO CAMPUS ILHA DO FUNDÃO/UFRJ: IMPACTO DA ANÁLISE DE SOLO NA COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA E MICROBIOTA	
Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio	
Nicole Delaunay de Souza	
Simone da Silva	
Alexandre dos Santos Pyrrho	
Morgana Teixeira Lima Castelo Branco	
Ricardo Machado Kuster	
Celso Luiz Salgueiro Lage	
DOI 10.37423/250309832	
CAPÍTULO 5	87
EUPHORBIA TIRUCALLI COMO INDICADOR PALEOCONTINENTAL NO NOROESTE DA BAHIA E NA FAIXA COSTEIRA DE ANGOLA (CRÁTON DO CONGO)	
Nicole Delaunay de Souza	
Sandra Ávila Gaspar	
Simone da Silva	
Alexandre dos Santos Pyrrho	
Ricardo Machado Kuster	
Celso Luiz Salgueiro Lage	
Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio	
Morgana T. L. Castelo Branco	
DOI 10.37423/250309833	

CAPÍTULO 6 107

GERMINAÇÃO DE VIGNA UNGUICULATA COM SOLUÇÕES ULTRADILUÍDAS E DINAMIZADAS: POTENCIAL APLICAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL

Sandra Avila Gaspar

Naema Wasim

Patricia Guimarães Musmanno

Isabela de Souza Ramos Silva

Gabriela Miranda Bellizzi Del Caro

Fábio de Almeida Bolognani

Morgana Teixeira Lima Castelo Branco

Alexandre dos Santos Pyrrho

Simone da Silva

Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio

DOI 10.37423/250309834

CAPÍTULO 7 128

PROPOSTA DE UMA PRÁTICA EDUCATIVA INVESTIGATIVA COM O GEOGEBRA: UM ESTUDO DAS FUNÇÕES POLINOMIAIS DO SEGUNDO GRAU NO ENSINO MÉDIO

Davi Pedrada de Sousa

Mariana dos Santos Cezar

Deborah Pereira Domingues

DOI 10.37423/250409846

CAPÍTULO 8 132

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES BY ELECTROCHEMISTRY

Higor de Souza Silva

Eloisa Aparecida Carvalho Silva

Gabriel Menegolo de Castro Meira

Fernando Rogério de Paula

Ligia Maria Manzine Costa

DOI 10.37423/250409903

CAPÍTULO 9 137

FOTODEGRADAÇÃO DE CORANTE: DESENVOLVIMENTO DE UM FOTORREATOR DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE REAÇÕES FOTOQUÍMICAS

Maurício Pereira Ferreira

Thalles Maranesi Pereira

Luciano Sindra Virtuoso

DOI 10.37423/250409905

Capítulo 1



10.37423/250309750

TRANSFORMAÇÃO VERDE: UMA ABORDAGEM PEDAGÓGICA INOVADORA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Wagner Pereira de Souza

*Universidade do Estado do Mato Grosso
(UNEMAT)*

Mauricy de Oliveira Rosa Shorr

*Universidade do Estado do Mato Grosso
(UNEMAT)*



Resumo: A educação ambiental na formação de professores é um fator essencial para a construção de práticas pedagógicas que promovam a sustentabilidade e a conscientização ecológica. O presente estudo analisa o projeto "Árvore Viva", realizado na Escola Municipal Belo Ramo, em Sinop-MT, como um modelo de inclusão da temática ambiental no ensino fundamental. A iniciativa envolveu alunos, professores e a comunidade escolar em ações práticas de plantio, conservação da vegetação e aprendizado interdisciplinar. Foram utilizados métodos de observação participante, oficinas didáticas e avaliação formativa para mensurar os impactos na aprendizagem e no envolvimento da comunidade. Os resultados mostram que, ao integrar a educação ambiental à prática pedagógica, houve avanço na sensibilidade ecológica dos estudantes e um fortalecimento da formação docente no tema. O estudo ressalta a importância de experiências concretas no ensino de meio ambiente e propõe a ampliação de programas semelhantes para fortalecer a formação inicial e continuada de professores na área ambiental.

Palavras-chave: Educação ambiental. Formação docente. Sustentabilidade. Ensino fundamental. Arborização escolar.

1 INTRODUÇÃO

Ninguém liberta ninguém, ninguém se liberta sozinho: os homens se libertam em comunhão!

(Freire, 1987, p. 29)

A degradação ambiental tem sido um dos desafios globais mais urgentes, afetando diretamente a biodiversidade, os recursos naturais e a qualidade de vida das populações ao redor do mundo. O crescimento desordenado das cidades, o desmatamento acelerado e a redução de áreas verdes resultam em impactos significativos no equilíbrio ecológico, contribuindo para a intensificação das mudanças climáticas, a poluição do ar e da água, e a perda de habitats naturais. Esses problemas são particularmente graves em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde a falta de políticas públicas eficazes voltadas à preservação ambiental agrava ainda mais a situação. Nesse contexto, torna-se essencial a promoção de uma educação ambiental transformadora desde os anos iniciais do ensino fundamental, visando formar cidadãos conscientes e comprometidos com a sustentabilidade. (NOGUEIRA, 2023)

A escola, como espaço de formação cidadã, tem um papel central nesse processo, especialmente no que diz respeito à formação de professores, que podem se tornar agentes multiplicadores de práticas pedagógicas voltadas à sustentabilidade. A inserção da educação ambiental nas práticas pedagógicas permite que docentes e alunos se tornem protagonistas na construção de um futuro mais sustentável. No entanto, observa-se que muitos professores encontram dificuldades em integrar de maneira efetiva a temática ambiental ao currículo escolar. Entre os principais obstáculos estão a falta de formação específica na área, a carência de recursos didáticos adequados e a ausência de metodologias que facilitem a abordagem interdisciplinar do tema. (PAULA, 2023)

Compreendendo esse cenário, a Escola Municipal Belo Ramo, localizada em Sinop-MT, desenvolveu o projeto “Árvore Viva”, uma iniciativa inovadora voltada para a arborização escolar e o ensino ambiental integrado à rotina pedagógica. O projeto foi concebido com o objetivo de sensibilizar alunos, professores e a comunidade escolar sobre a importância da preservação ambiental, utilizando a prática do plantio e cuidado com as árvores como eixo central das atividades educativas. A proposta envolveu a realização de oficinas, palestras e atividades práticas que uniam teoria e vivência, permitindo que os estudantes experimentassem na prática os conceitos ensinados em sala de aula. (PITA, et al.; 2021)

O projeto “Árvore Viva” não apenas promoveu a arborização do espaço escolar, mas também buscou envolver a comunidade local, incentivando a participação ativa de pais, moradores e instituições parceiras. A integração da comunidade foi fundamental para garantir o sucesso das ações e para fortalecer os laços entre a escola e o entorno, criando uma rede de apoio e colaboração em prol da sustentabilidade. Além disso, o projeto proporcionou aos professores uma oportunidade de formação continuada, permitindo que eles aprimorassem suas práticas pedagógicas e se tornassem mais preparados para abordar a temática ambiental de forma eficaz e inspiradora conforme explica: (NOGUEIRA, 2023).

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foram realizadas diversas atividades que estimularam a reflexão crítica e a ação prática dos alunos. Entre essas atividades, destacam-se o plantio de mudas, a criação de sistemas de irrigação sustentável, a realização de mutirões de limpeza e a promoção de campanhas de conscientização ambiental. Essas ações contribuíram para o desenvolvimento de competências socioambientais nos estudantes, fortalecendo seu senso de responsabilidade e sua capacidade de atuar como agentes de mudança em suas comunidades que se ancora na teoria de (SANTANA; LIMA, 2023).

Em suma, o projeto “Árvore Viva” representa uma experiência bem-sucedida de integração da educação ambiental ao currículo escolar, demonstrando que é possível transformar a realidade educacional e promover a sustentabilidade por meio de práticas pedagógicas inovadoras e colaborativas. A experiência da Escola Municipal Belo Ramo serve como inspiração para outras instituições de ensino, evidenciando a importância de investir na formação de professores e na implementação de projetos que valorizem a educação ambiental como um componente essencial para a construção de um futuro mais justo e sustentável.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa se caracteriza como um estudo qualitativo e exploratório, fundamentado na observação participante e na análise documental. A abordagem qualitativa foi escolhida por permitir uma compreensão aprofundada das percepções, experiências e significados atribuídos pelos participantes ao projeto “Árvore Viva”. A natureza exploratória do estudo busca investigar um fenômeno pouco conhecido ou pouco estudado, permitindo a descoberta de novas perspectivas e a geração de hipóteses para pesquisas futuras. (GIL, 2002)

A observação participante foi uma técnica central na coleta de dados, na qual os pesquisadores se envolveram ativamente nas atividades do projeto, acompanhando de perto as interações entre alunos, professores e comunidade. Esse método permitiu uma visão em primeira mão das dinâmicas e processos envolvidos, bem como a captura de nuances que poderiam não ser reveladas por outros métodos de coleta de dados. Os registros de atividades incluíram anotações de campo detalhadas, fotografias e vídeos, que documentaram as etapas do plantio, as oficinas educativas e os eventos de conscientização ambiental. (LAKATOS; MARCONI, 2003)

Além da observação participante, a análise documental foi utilizada para complementar os dados obtidos. Foram analisados documentos institucionais, como planos de aula, relatórios de atividades, materiais didáticos utilizados e produzidos pelos alunos, além de registros de premiações e reconhecimentos recebidos pelo projeto. Depoimentos dos envolvidos – alunos, professores, pais e membros da comunidade – foram coletados por meio de entrevistas semiestruturadas e grupos focais, proporcionando uma rica fonte de dados qualitativos. Esses depoimentos ofereceram percepções valiosas sobre as percepções e experiências dos participantes, bem como sobre os impactos do projeto em suas vidas. (LAUBENSTEIN; ANTÔNIO JÚNIOR; SILVA, 2024)

A análise dos materiais produzidos pelos alunos, como desenhos, redações e projetos de ciências, permitiu avaliar o desenvolvimento de competências socioambientais e a internalização dos conceitos trabalhados. Esses materiais foram examinados à luz dos objetivos do projeto, buscando identificar evidências de aprendizado significativo e de mudanças de atitude em relação ao meio ambiente.

2.2 ÁREA DE ESTUDO E PÚBLICO-ALVO

A Escola Municipal Belo Ramo¹, situada em Sinop-MT, foi o local de estudo. A instituição atende alunos do ensino fundamental I, com idades entre 7 e 10 anos, sendo esse o público diretamente envolvido nas ações propostas. A escolha da escola foi estratégica, considerando seu contexto socioeconômico e a receptividade da gestão escolar em implementar o projeto "Árvore Viva". A escola está localizada em uma área urbana que enfrenta desafios ambientais típicos de cidades em crescimento, como a escassez de áreas verdes e a necessidade de maior conscientização ambiental.

O público-alvo do projeto inclui não apenas os alunos, mas também os professores, a equipe gestora da escola, os pais e os membros da comunidade local. As crianças, com idades entre 7 e 10 anos, estão em uma fase crucial de desenvolvimento, em que a formação de valores e atitudes é altamente influenciada pelas experiências educativas. O envolvimento direto dos alunos nas atividades de plantio

e cuidado com as árvores visa promover um aprendizado prático e significativo, estimulando a responsabilidade e o senso de pertencimento.

Além das atividades voltadas para os alunos, foram realizadas ações específicas para conscientizar e engajar as famílias e a comunidade. Essas ações incluíram palestras, oficinas e eventos comunitários, que buscaram ampliar o impacto do projeto para além do ambiente escolar. A participação dos pais e da comunidade foi incentivada para garantir a sustentabilidade das ações e para fortalecer os laços entre a escola e o entorno. A integração da comunidade no projeto foi fundamental para criar uma rede de apoio e colaboração, essencial para o sucesso e a continuidade das iniciativas de arborização e educação ambiental.(PITA et al.; 2021)

As ações de conscientização voltadas à comunidade tiveram como objetivo sensibilizar os moradores sobre a importância da preservação ambiental e incentivá-los a adotar práticas sustentáveis em suas rotinas diárias. A distribuição de mudas para plantio em residências e espaços públicos do bairro foi uma estratégia eficaz para envolver a comunidade e multiplicar os benefícios do projeto. Além disso, a realização de mutirões de limpeza e plantio em áreas comuns promoveu a cooperação e o engajamento coletivo, fortalecendo o espírito comunitário e a responsabilidade compartilhada pela preservação do meio ambiente.

Em resumo, a caracterização da pesquisa e a definição da área de estudo e do público-alvo destacam a importância de uma abordagem integrada e participativa para a educação ambiental. O projeto "Árvore Viva" exemplifica como a colaboração entre escola, alunos, famílias e comunidade pode gerar resultados significativos, promovendo a conscientização ambiental e a sustentabilidade de maneira prática e envolvente.

2.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

O projeto "Árvore Viva" foi desenvolvido em quatro etapas estratégicas, cada uma com objetivos específicos para promover a educação ambiental de forma integrada e eficaz. Essas etapas foram cuidadosamente planejadas para garantir que tanto os professores quanto os alunos e a comunidade pudessem participar ativamente e colher os benefícios do projeto.

A primeira etapa consistiu na capacitação dos professores. Reconhecendo que os docentes são fundamentais para a implementação bem-sucedida de qualquer iniciativa educacional, foram organizadas formações específicas sobre arborização, sustentabilidade e metodologias ativas para o ensino ambiental. Essas formações incluíram palestras, workshops e oficinas práticas ministradas por

especialistas da área ambiental e da educação. Os professores foram introduzidos a conceitos fundamentais de ecologia e sustentabilidade, bem como a técnicas de ensino que facilitassem a integração desses temas ao currículo escolar. Além disso, foram discutidas estratégias para engajar os alunos em atividades práticas e promover o aprendizado significativo. A formação continuada dos professores foi essencial para garantir que eles se sentissem confiantes e preparados para conduzir as atividades do projeto e para atuar como multiplicadores do conhecimento ambiental.(FELIZARDO; FILOMENO; LAGE, 2022)

Na segunda etapa, foram realizadas atividades pedagógicas voltadas ao desenvolvimento da consciência ecológica nos alunos. Essas atividades foram cuidadosamente planejadas para serem interativas e envolventes, utilizando uma abordagem interdisciplinar que integrava diferentes áreas do conhecimento. A contação de histórias foi uma das estratégias utilizadas para despertar o interesse das crianças e introduzir conceitos ambientais de maneira lúdica e acessível. Histórias sobre a importância das árvores, os ciclos da natureza e a necessidade de preservar o meio ambiente foram contadas e discutidas em sala de aula. Além disso, os alunos foram incentivados a produzir desenhos e textos sobre o tema, permitindo que expressassem suas ideias e sentimentos em relação à natureza. A observação da vegetação ao redor da escola foi outra atividade importante, onde os alunos puderam aprender sobre as espécies de plantas locais, suas características e a importância de cada uma para o ecossistema. As discussões sobre o ciclo da água e a vida das plantas ajudaram a contextualizar o aprendizado e a mostrar a interdependência entre os seres vivos e o meio ambiente conforme orienta: (ALMEIDA, 2024).

A terceira etapa envolveu o plantio e monitoramento de mudas dentro da escola, realizado de maneira sistemática. Essa atividade tornou-se um componente essencial para a aprendizagem ambiental prática, permitindo que os alunos participassem ativamente do processo de arborização. O plantio das mudas foi realizado com o apoio de especialistas e voluntários da comunidade, que orientaram os alunos sobre as técnicas corretas de plantio e os cuidados necessários para garantir o crescimento saudável das árvores. Cada aluno foi incentivado a apadrinhar uma muda, assumindo a responsabilidade de cuidar dela e monitorar seu desenvolvimento. Essa abordagem promoveu um senso de pertencimento e responsabilidade, além de proporcionar uma experiência prática de cuidado e preservação ambiental. (ALMEIDA, 2024).

Para garantir a sobrevivência das árvores após o plantio, foi implementado um sistema de gotejamento, uma técnica eficiente de irrigação ensinada por especialistas da comunidade. O sistema

de gotejamento consiste em fornecer água diretamente às raízes das plantas de forma lenta e constante, minimizando o desperdício de água e garantindo que as mudas recebam a quantidade adequada de umidade. Essa técnica foi especialmente importante durante os períodos de estiagem, quando a falta de água poderia comprometer o crescimento das árvores. A implementação do sistema de gotejamento envolveu a instalação de tubos e gotejadores ao redor das mudas, e os alunos foram treinados para monitorar e ajustar o sistema conforme necessário. Essa atividade não apenas garantiu a sobrevivência das mudas, mas também ensinou aos alunos sobre a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos. (SOUZA; ANDRADE, 2022)

Além das atividades realizadas na escola, os alunos foram incentivados a levar mudas para casa, promovendo a arborização de seus bairros e envolvendo seus familiares no cuidado com as plantas. Essa iniciativa visava ampliar o impacto do projeto para além do ambiente escolar, criando uma rede de cuidado e preservação que envolvia toda a comunidade. Os alunos receberam orientações sobre como plantar e cuidar das mudas em suas residências, e foram incentivados a compartilhar seus conhecimentos com seus familiares. Essa ação não apenas contribuiu para a arborização dos bairros, mas também fortaleceu os laços entre a escola e a comunidade, promovendo uma cultura de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Em resumo, o projeto "Árvore Viva" foi desenvolvido de maneira estratégica e integrada, envolvendo capacitação de professores, atividades pedagógicas interativas, plantio e monitoramento de mudas, e engajamento da comunidade. Cada etapa foi cuidadosamente planejada para garantir que os objetivos de promover a educação ambiental e a sustentabilidade fossem alcançados de forma eficaz e duradoura. O sucesso do projeto demonstra a importância de uma abordagem colaborativa e prática para a educação ambiental, e serve como modelo para outras escolas e comunidades que desejam implementar iniciativas semelhantes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A educação ambiental deve ser entendida como um processo permanente no qual os indivíduos e a coletividade tomam consciência de seu ambiente e adquirem conhecimentos, valores, habilidades, experiências e a determinação que os torna aptos a atuar, individual e coletivamente, na solução dos problemas ambientais presentes e futuros." (JACOBI, 2003, p. 34)

Os impactos do projeto "Árvore Viva" foram expressivos tanto no engajamento ambiental dos alunos quanto na formação docente. Os estudantes demonstraram um avanço significativo na percepção

ambiental, desenvolvendo um senso de pertencimento e responsabilidade sobre os espaços verdes que ajudaram a criar. O envolvimento direto no plantio e cuidado das mudas proporcionou uma experiência prática e significativa, permitindo que os alunos compreendessem a importância das árvores para o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida. Essa vivência prática foi fundamental para consolidar os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula, tornando o aprendizado mais concreto e relevante. (GOMES; PEDROSO, 2022)

Muitos alunos passaram a compartilhar seus conhecimentos com os familiares, incentivando hábitos mais sustentáveis dentro de suas próprias casas. Esse efeito multiplicador foi um dos aspectos mais positivos do projeto, pois ampliou seu impacto para além dos muros da escola. As crianças se tornaram agentes de mudança em suas comunidades, promovendo a conscientização ambiental e incentivando práticas como o plantio de árvores, a economia de água e a redução de resíduos. Esse engajamento familiar reforçou os laços entre a escola e a comunidade, criando uma rede de apoio e colaboração em prol da sustentabilidade. Essas ações coaduna com a argumentação de (SOUZA; ANDRADE, 2022).

Da mesma forma, os professores aprimoraram suas práticas pedagógicas ao perceberem a relevância do ensino ambiental para a construção de conhecimentos interdisciplinares. A formação continuada oferecida pelo projeto permitiu que os docentes adquirissem novas habilidades e conhecimentos, que foram incorporados ao planejamento e execução das aulas. O desenvolvimento do projeto possibilitou que o ensino de ciências, geografia, matemática e linguagens se integrasse ao tema da arborização, criando um aprendizado mais dinâmico e contextualizado. Por exemplo, nas aulas de ciências, os alunos puderam estudar o ciclo da água e a fotossíntese de forma prática, observando as mudanças nas plantas que haviam plantado. Nas aulas de geografia, discutiram a importância das áreas verdes para o clima urbano e a biodiversidade. Em matemática, calcularam o crescimento das árvores e a quantidade de água necessária para a irrigação. E nas aulas de linguagem, produziram textos e apresentações sobre suas experiências, desenvolvendo habilidades de comunicação e expressão. (CRUZ; VIEIRA, 2022)

No entanto, desafios foram enfrentados ao longo do processo. Um dos principais entraves foi a depredação das mudas, visto que algumas foram arrancadas ou danificadas por indivíduos que utilizavam a área externa da escola. Esse problema evidenciou a necessidade de promover uma maior conscientização e engajamento da comunidade para proteger e valorizar os espaços verdes. Para lidar com essa questão, foram promovidas ações de conscientização direcionadas à comunidade, incluindo a fixação de cartazes educativos que destacavam a importância das árvores e os benefícios da

arborização. Além disso, as árvores foram nomeadas em homenagem a pessoas importantes no projeto, permitindo que cada planta se tornasse um símbolo de respeito e memória. Essa estratégia ajudou a criar um vínculo emocional com as árvores, incentivando os alunos e a comunidade a cuidarem delas com mais zelo. (LEAL; NUNES; RONQUI, 2023)

Outro desafio significativo foi a presença de formigas cortadeiras, que representou um problema constante para a manutenção das mudas. Essas formigas, conhecidas por sua capacidade de desfolhar rapidamente as plantas, ameaçavam a sobrevivência das árvores recém-plantadas. Para enfrentar esse desafio, foi necessário adotar medidas de controle biológico das pragas, evitando o uso excessivo de defensivos químicos que poderiam prejudicar o meio ambiente e a saúde dos alunos. A colaboração com especialistas em controle biológico permitiu a implementação de soluções mais sustentáveis e eficazes, como o uso de iscas naturais e a introdução de predadores naturais das formigas. (MAIA, 2021)

O estabelecimento de uma parceria entre professores, alunos e membros da comunidade foi fundamental para enfrentar esses desafios e reforçar a importância da educação ambiental para todos os envolvidos. A cooperação e o apoio mútuo foram essenciais para superar os obstáculos e garantir o sucesso do projeto. A participação ativa da comunidade não apenas ajudou a proteger as mudas, mas também fortaleceu o senso de responsabilidade coletiva pela preservação do meio ambiente.

O reconhecimento do projeto ultrapassou os muros da escola, conquistando visibilidade em eventos educacionais e ambientais. A iniciativa foi premiada na Feira de Ciências do município, onde os alunos puderam apresentar seus trabalhos e compartilhar suas experiências com outras escolas e a comunidade. Além disso, o projeto foi selecionado para integrar o programa "Escola Verde" do Ministério Público, que apoia práticas voltadas à sustentabilidade no ambiente escolar. Esses reconhecimentos demonstraram não apenas a relevância das ações implantadas, mas também o papel fundamental da educação ambiental na construção de uma sociedade mais consciente e ecologicamente responsável.

A visibilidade e os prêmios recebidos pelo projeto "Árvore Viva" serviram como um incentivo adicional para todos os envolvidos, reforçando a importância do trabalho realizado e motivando a continuidade e expansão das ações. O sucesso do projeto também inspirou outras escolas a adotarem práticas semelhantes, contribuindo para a disseminação de uma cultura de sustentabilidade na educação.

Em resumo, os impactos do projeto "Árvore Viva" foram amplos e significativos, demonstrando o potencial transformador da educação ambiental quando integrada de forma prática e colaborativa ao

currículo escolar. A experiência proporcionou um aprendizado valioso para alunos, professores e a comunidade, promovendo a conscientização ambiental e incentivando práticas sustentáveis que podem gerar benefícios duradouros para a sociedade e o meio ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto “Árvore Viva” demonstrou de maneira clara e contundente que a educação ambiental, quando integrada ao currículo escolar de forma prática e vivencial, pode trazer benefícios duradouros tanto para os alunos quanto para os educadores. Essa abordagem prática permitiu que os estudantes desenvolvessem um olhar mais sensível e consciente sobre a importância das árvores e da preservação do meio ambiente. Ao participarem ativamente do plantio e cuidado das mudas, os alunos puderam vivenciar diretamente os conceitos teóricos aprendidos em sala de aula, o que facilitou a internalização desses conhecimentos e a aplicação prática em suas vidas cotidianas.

A experiência proporcionada pelo projeto também possibilitou aos professores aperfeiçoarem suas metodologias de ensino e aprofundarem seus conhecimentos na área ambiental. A formação continuada oferecida aos docentes foi essencial para capacitá-los a integrar a temática ambiental de maneira eficaz e inspiradora em suas aulas. Os professores puderam explorar novas estratégias pedagógicas, como o ensino interdisciplinar e as metodologias ativas, que tornaram o aprendizado mais dinâmico e contextualizado. Além disso, o envolvimento dos professores no projeto fortaleceu seu compromisso com a educação ambiental e sua capacidade de atuar como agentes multiplicadores de práticas sustentáveis.

Os resultados positivos obtidos com o projeto evidenciam a necessidade de ampliar essas iniciativas, garantindo que a formação continuada de professores contemple a temática da sustentabilidade e que as escolas disponham dos recursos adequados para desenvolver projetos semelhantes. A integração da educação ambiental ao currículo escolar deve ser vista como uma prioridade, não apenas por seus benefícios imediatos, mas também por seu impacto a longo prazo na formação de cidadãos mais conscientes e comprometidos com a preservação do meio ambiente.

Ao integrar a teoria à prática e ao envolver os diversos atores da comunidade escolar, o projeto revelou que a educação ambiental pode ser verdadeiramente transformadora. Ações simples, como o plantio e cuidado com as árvores da escola, podem resultar em uma mudança significativa na forma como os alunos e professores percebem o meio ambiente e a sua responsabilidade na conservação da natureza. A participação ativa dos alunos no cuidado com as mudas promoveu um senso de

pertencimento e responsabilidade, enquanto a colaboração com a comunidade reforçou a importância do trabalho coletivo em prol da sustentabilidade.

O impacto do projeto foi além do aprendizado acadêmico, promovendo o desenvolvimento de competências socioemocionais nos alunos, como empatia, cooperação e resolução de problemas. A experiência prática de cuidar das árvores ensinou aos alunos a importância da paciência, do compromisso e da perseverança, valores que são fundamentais não apenas para a preservação ambiental, mas também para a vida em sociedade.

Além disso, o projeto “Árvore Viva” serviu como um modelo inspirador para outras instituições educacionais, demonstrando que é possível implementar práticas sustentáveis de maneira eficaz e envolvente. A disseminação de projetos semelhantes pode contribuir para a criação de uma rede de escolas comprometidas com a educação ambiental, promovendo uma cultura de sustentabilidade que se estenda por toda a comunidade.

A implementação de práticas sustentáveis no ensino é essencial para preparar as futuras gerações para os desafios ambientais que enfrentamos. A formação de cidadãos críticos e comprometidos com o futuro do planeta depende de uma educação que valorize a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental. Projetos como o “Árvore Viva” mostram que, com o apoio adequado e a colaboração de todos os envolvidos, é possível transformar a realidade educacional e promover um futuro mais sustentável.

Em conclusão, o projeto “Árvore Viva” demonstrou que a educação ambiental integrada ao currículo escolar pode ter um impacto profundo e duradouro na formação de alunos e professores. Ao proporcionar experiências práticas e envolver a comunidade, o projeto promoveu a conscientização ambiental e incentivou práticas sustentáveis que podem gerar benefícios a longo prazo. Espera-se que este estudo possa servir de inspiração para outras instituições educacionais, incentivando a implementação de práticas sustentáveis no ensino e contribuindo para a formação de cidadãos mais críticos e comprometidos com o futuro do planeta. A continuidade e ampliação dessas iniciativas são fundamentais para garantir que a educação ambiental se torne uma parte integral do processo educativo, preparando as futuras gerações para enfrentar os desafios ambientais com conhecimento, responsabilidade e compromisso.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Kathia Susana. A Influência do Currículo Escolar na Formação Cidadã, 2024. Disponível em: <http://www.ijlrhss.com/paper/volume-7-issue-10/7-HSS-2931.pdf> - International Journal of Latest Research in Humanities and Social Science (IJLRHSS) Volume 07 - Issue 10, 2024.
- CRUZ, Ramires; VIEIRA, Laurentino Bernardes. Educação ambiental: a importância do trabalho interdisciplinar. Revista De Comunicação Científica (Unemat, Juara), 10(1), 84-99. <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcc/article/view/6088>
- FELIZARDO, Clayton Tôrres; FILOMENO, Eduardo da Silva; LAGE, Débora de Aguiar. Educação ambiental crítica no espaço escolar: percepções e práticas docentes. Revista Ciências & Ideias, ISSN 2176-1477 Vol. 12,N.4 – nov./dez. 2021 <https://doi.org/10.22407/2176-1477/2021.v12i4.1706>
- FREIRE, Paulo. Pedagogia do Oprimido. Paz e Terra, 1987.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisas. 4 ed. Atlas: São Paulo, 2002.
- GOMES, Yasmin Leon; PEDROSO, Daniele Saheb. Metodologias de Ensino em Educação Ambiental no Ensino Fundamental: uma Revisão Sistemática. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências/v. 22 (2022): Janeiro-Dezembro
- <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u321353>
- JACOBI, Pedro. Educação Ambiental e Cidadania. Moderna: São Paulo, 2003.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5 ed. Atlas: São Paulo, 2003.
- LEAL, Bruna Mattos; NUNES, Reginaldo de Oliveira; RONQUI, Ludimilla. Educação ambiental e estratégias para preservação: um estudo em uma escola do município de Ariquemes (RO). Revista Brasileira de Educação Ambiental/São Paulo, V.16, No 5: 115-133, 2021. <https://abreai.link/mvb1f>
- LAUBENSTEIN, Lippel Franciele; JÚNIOR, Sari Carlos Antônio; SILVA, Rogério Borba da. Metodologia ativa na educação ambiental: um novo paradigma na interação do ser humano com o meio ambiente. Revista de Direito e Sustentabilidade, Florianopolis, Brasil, v. 10, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2024.v10i1.10437>
- MAIA, Cristiane Scheidegger Laia. Sustentabilidade no controle de pragas agrícolas. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio ambiente/v. 2 n. 3 (2021): Edição especial: Anais de eventos / I Congresso Nacional On-line de Conservação e Educação Ambiental. <https://doi.org/10.51189/rema/1699>
- NOGUEIRA, Christiano. Contribuições para a educação ambiental crítica. Revista Brasileira de Educação Ambiental / Abril 2023 DOI: <https://10.34024/revbea.2023.v18.14160>
- PAULA, Elissandra de. Educação ambiental na escola e as suas potencialidades para a formação cidadã. Repositório Institucional (Instituto Federal do Espírito Santo)
- <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3372>

PITA, Javier Dias et al.; Educação Ambiental no currículo técnico profissionalizante: Uma ferramenta para valorizar o meio ambiente e promover a conscientização dos alunos sobre a situação do planeta. Revista Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento - ISSN 2525-3409/Vol. 10 No. 2 / Ciências da Educação. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12291>

SANTANA, Luzia Costa de.; LIMA, Tatiana Polliana Pinto. Contribuições da educação ambiental para a cidadania. Revista Educação Popular, Uberlândia, v. 19, n. 3, p. 158-170, set-dez. 2020. <https://pdfs.semanticscholar.org/4c8f/cca6fc845adc4b655cbbc28a487974369728.pdf>

SOUZA, Daniela Faria; ANDRADE, Francisca Marli Rodrigues de. Diálogos entre a Educação Ambiental e a aprendizagem baseada em problemas: uma proposta de intervenção sobre o uso da água com estudantes do Ensino Fundamental. Revista Ambiente & Educação - v. 27 n. 2 (2022): <https://doi.org/10.14295/ambeduc.v27i2.13459>.

Capítulo 2



10.37423/250309784

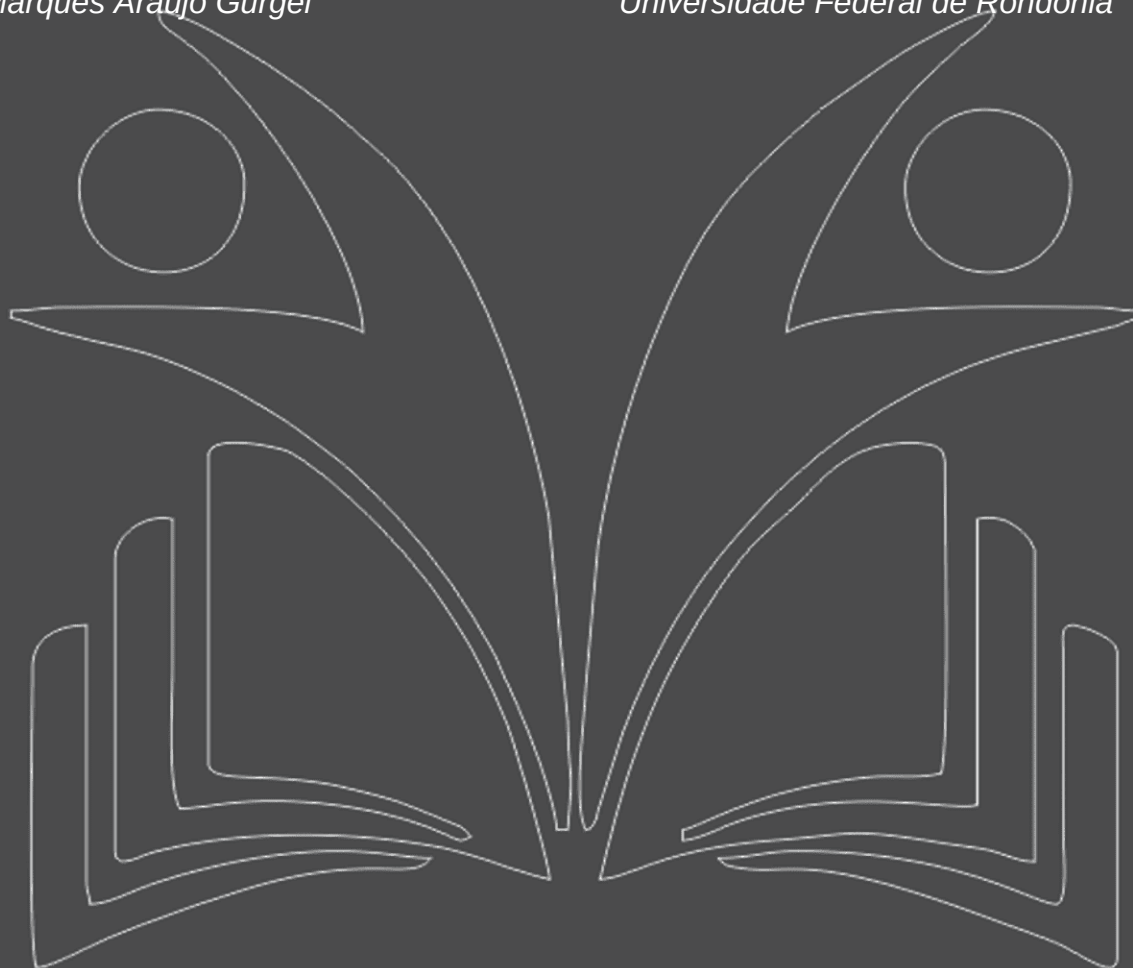
MULHERES RURAIS RIBEIRINHAS DA AMAZÔNIA E COLONIALIDADES

Tainá Trindade Pinheiro

Universidade Federal de Rondônia

Jackeline Marques Araújo Gurgel

Universidade Federal de Rondônia



Resumo: O presente artigo busca analisar a vivência das mulheres rurais e ribeirinhas, e seu contexto social na luta por políticas públicas, a fim de trazer reflexões sobre seu modo de vida, luta e desafios ligados aos processos de políticas públicas, lugar de fala e empoderamento. Os conceitos e base teórica estão principalmente alicerçados em autoras feministas como Joseli Maria Silva, Doreen Massey, Rosa Ester Rossini, Maria das Graças Silva Nascimento Silva, que nos direcionam para o entendimento do pensamento feminista, chamando atenção sobretudo para os silenciamentos, hierarquias e submissões instauradas em todos os espaços. Autores como Aníbal Quijano, Rogério Haesbaert, embasam o entendimento das colonialidades e o sentido de descolonizar como resistência de toda forma de opressão. O artigo traz como recorte espacial de pesquisa, a realidade das mulheres rurais ribeirinhas do distrito de Nazaré, município de Porto Velho, no estado de Rondônia, comunidades em que as autoras possuem vivências de pesquisa de campo. De maneira geral o texto nos apresenta um cenário rural e ribeirinho onde a articulação e a organização das mulheres, politicamente, é um fator que potencializa a construção do empoderamento e de possibilidades de acesso às políticas públicas que possibilitem alguma equidade de gênero para essas mulheres.

Palavras-chave: Mulheres Rurais; Vivências; Políticas Públicas.

INTRODUÇÃO

Tratar das questões de gênero e empoderamento da mulher amazônida é de suma importância na ciência geográfica, pois fortalece e possibilita a propagação das lutas feministas no que ressalta à visibilidade e especificidades da condição de vida das mulheres na sociedade contemporânea e rural.

Para tanto, é necessário nos reportarmos à historicidade da construção social, em que as relações foram e são estabelecidas. Trazemos, assim, para início de entendimento, a compreensão do que é patriarcado, um sistema de dominação marcado por uma construção desigual nas relações sociais, não só de gênero, como também raça, etnia, trabalho, entre outros, explicado por uma construção baseada em relações desiguais de poder .

No patriarcalismo, é determinado para a sociedade que a organização social tenha papéis definidos para cada indivíduo. Essa premissa parte da centralidade exclusiva do homem, o que, obviamente, gerou relações desiguais, definindo espaços privilegiados ao homem e pesados processos de exclusão à mulher.

Tal processo de dominação e exclusão também pode ser explicado pelo “mito judaico-cristão”, visto que nossa civilização atual também é baseada nas tradições e cultura judaicas. Podemos compreender parte das raízes da construção das relações sociais por esse viés, pelo qual é possível discutir a divisão sexual dos papéis de homens e mulheres, transpassadas pela relação de poder e sua perpetuação na sociedade. Lopes (2010, p.11) retrata que, seguindo esse pretexto, a mulher era vista como companheira apenas, para auxiliar o homem e acalotá-lo em dias difíceis, sendo que ela não devia ter pensamentos de autonomia.

Nesse sentido, vemos que a mulher era então vista não como um ser para pensar e criar, mas sim, para servir e reproduzir, eram oprimidas no que diz respeito a sua liberdade e a sua autonomia. A estrutura familiar seguia uma hierarquia de dominação masculina, no pretexto de obediência religiosa, tinham-se formas de dominação e opressão. Esse modelo de dominação também deixa marcas na sociedade no passar do tempo, a perpetuação pelas gerações é existente no que tange às várias religiões de raízes judaicas.

A partir dessas afirmações, é possível perceber que, ao longo da história, vários foram os mecanismos de “perpetuação” da submissão das mulheres em relação aos homens, com as relações sendo traçadas dentro de um contexto desigual, no que tange aos papéis e aos espaços na sociedade, onde as mulheres viveram associadas a essas relações por décadas, acarretando marcas nas gerações atuais.

Dentro desse cenário, passamos a compreender um pouco das lutas das mulheres para a então quebra dessas relações assimétricas de domínio patriarcal, pois a mulher vivenciou uma condição que ela não escolheu, quando, na verdade, ela almejava direitos, autonomia e equidade, entre tantos outros fatores que foram levantados ao longo da história do movimento feminista.

Assim, as análises a seguir trazem pontos de questionamentos e debates acerca de como a mulher foi ocupando espaços na sociedade, e como os enfrentamentos foram tomando diferentes vertentes tanto diretos como indiretas na luta das mulheres.

METODOLOGIA

PRIMEIRAS REFLEXÕES

O patriarcado definiu na sociedade brasileira o silenciamento tanto do papel social da mulher quanto suprimiu sua trajetória histórica provocando profundos silenciamentos e exclusões das vozes e ações das mulheres. Os estudos de gênero têm descortinado esses silenciamentos e exclusões, procurando redefinir o papel da mulher na sociedade. Tais enfrentamentos são condições *sine qua non* para a reconstrução da ideia de sociedade brasileira que procura diminuir o enorme fosso das desigualdades e das assimetrias sociais, econômicas e culturais que vivemos.

Quando pensamos em silenciamentos, estamos fazendo lembrar de vozes que existem e foram caladas e invisibilizadas na história, que pode ser explicado pelo sentido da colonialidade, conforme Castro-Gómez (2005, p. 20), compreendemos que a colonialidade corrobora com esse processo de silenciamento e exclusão de inúmeras categorias sociais, entre as quais encontra-se a mulher.

No cunho científico, visibilizar os grupos excluídos foi possível através de um longo e desafiante percurso em que as ciências humanas e sociais, entre elas a Geografia, permitissem esse diálogo, abrindo caminho para a inclusão de conceitos e temas que promovam o enfrentamento dos processos de “sufocamento” de grupos sociais fragilizados, que foram sistematicamente postos à margem do projeto burguês de “desenvolvimento”. A Geografia possibilita pesquisadores e pesquisadoras trilharem percursos epistemológicos diferentes e desafiadores que, por tempos, foram tratados como outros, como, por exemplo, tratar das relações de gênero. Amorim Filho (2007, p. 9) traz reflexões sobre as novas abordagens da geografia e da sua pluralidade, entre elas a geografia cultural, pautando as críticas aos modelos tradicionais, onde vai traçando e permitindo aberturas que contemplem tais abordagens culturais. Compreendemos que a cultura tem as relações sociais como construtoras e é

construída pelos sujeitos onde se configuram e dão sentidos ao seu viver. Dessa forma a homogeneidade é inexistente.

Joseli Silva (2003), analisa a abertura das geografias culturais que por muito tempo esteve centrado nos estudos quantitativos e materiais visíveis no espaço e como consequência das críticas que recebeu desde a chamada “virada cultural”, passou a possibilitar abordagens com perspectivas de gênero e espaços múltiplos. Nessa trajetória, “Durante muito tempo a abordagem do espaço na geografia esteve centrada nos estudos dos espaços político-institucionais, nos processos de produção e acumulação da riqueza e na concepção de cultura como uma instância supra-orgânica” (SILVA, 2003, p. 33). Joseli Silva entende que essas novas abordagens exigem um novo conjunto de métodos. Olhar para a questão de gênero na ciência geográfica é, portanto, desafiador. Trata-se de reconhecer o espaço como múltiplo, realçar as críticas e avançar junto às geografias feministas. Haraway (1988) nos leva a refletir que nem a universalidade, nem a relatividade traz a verdade, quando consideramos as posições e as relações, porque nos pomos na fronteira dos enfrentamentos das desigualdades e invisibilidades construídas pelas classes que detém o poder econômico e político da sociedade.

Doreen Massey (2004), contribui para esse debate a partir das teorias pós-coloniais, trazendo a ideia de resistência sobre a universalidade a partir do entendimento de relações sociais heterogêneas e múltiplas. Ela explica que o espaço é de interação e de envolvimento dentro de uma multiplicidade.

Trata-se então, de compreender que continuamente as relações sociais se reconfiguram dando ao espaço a heterogeneidade sob todas as suas formas – diversidade, subordinação, interesses conflitantes: “O espaço é a esfera da possibilidade da existência da multiplicidade; é a esfera na qual distintas trajetórias coexistem; é a esfera da possibilidade da existência de mais de uma voz. Sem espaço não há multiplicidade; sem multiplicidade não há espaço” (MASSEY, 2008, p. 8). As multiplicidades são evidenciadas por essa perspectiva de espaço que permite a compreensão das subjetividades e as reconfigurações do próprio espaço.

Podemos entender que Massey nos coloca em movimento, ou seja, não há como esperar que os processos que negam as condições de igualdade para a mulher nessa sociedade possam se resolver por si. A luta contra a invisibilidade e exclusão, tão bem pautadas pelos históricos movimentos feministas, nos mostram que a herança que nos delegou, exige nossa permanência nesse campo de batalha. Todo o movimento conservador que se apresenta tanto em escala nacional quanto internacional evidencia isso.

AS COLONIALIDADES E SILENCIAMENTOS

Ao tratarmos de colonialidades, não estamos nos referindo ao que se passou na trajetória da sociedade no período colonial. Compreendemos em Quijano (2005), que mesmo com o fim do colonialismo na América, ainda se perpetua a colonialidade no que se refere às relações sociais, culturais e entre outros aspectos que em muitas das vezes se dão de forma subjetiva, naturalizada e se reproduzem diariamente em nosso dia-a-dia de várias formas. Santos (2013) explica a colonialidade como um padrão de poder que articula diversas dimensões da existência social.

Trabalho, subjetividade, autoridade, sexualidade, cultura, identidade, entre outras, são dimensões constituintes das experiências sociais de indivíduos e grupos, e são constitutivas de um pacote de múltiplas relações de poder que, imbricadas, constituem a “colonialidade”. Esta se vale, portanto, de hierarquias sexuais, políticas, epistêmicas, econômicas, espirituais, linguísticas e raciais de dominação, operando em diversas escalas, desde a global até as interações entre dois indivíduos.

Agra (2021) traz, ainda, que as colonialidades estão presentes nas áreas periféricas no sentido de prevalecer o olhar do colonizador.

Com o olhar do colonizador, que vê lugares e não pessoas, o desenvolvimento segue sua trajetória como um conjunto de textos que integram o discurso colonizador. Um discurso impregnado nos projetos e constantemente disseminado pelos meios de comunicação que focalizam de maneira sensacionalista pontos de vista construídos pelo centro e que trazem um desenvolvimento questionável às periferias (AGRA, 2021, p 8.)

Esse entendimento se dá a partir do que Quijano (2010, p. 73) afirma: “A colonialidade é um dos elementos constitutivos e específicos do padrão mundial do poder capitalista”. Para Nilma Gomes (2018) a colonialidade então é resultado de uma imposição do poder e da dominação colonial e consegue atingir as estruturas subjetivas de um povo estendendo-se de tal maneira que, mesmo com o término do domínio colonial as suas amarras persistem.

Haesbaert (2021), em seus estudos recentes sobre a descolonização do território, coloca ser preciso reconhecer de(s)colonizar - mais como verbo do que como substantivo - é, em simultâneo, uma perspectiva de olhar/ler e de vivenciar/praticar o mundo.

Assim, diante dessa colonialidade profundamente impregnada tanto histórica quanto geograficamente, descolonizar está longe de ser apenas uma luta contra o que se explicita de colonialidade no presente. Trata-se de lutar contra o processo permanente com que se refazem – e muitas vezes se revigoram– esses princípios cuja origem remonta a séculos superpostos de domínio e expropriação, exacerbados nos últimos tempos por um padrão tecnológico capitalista nunca tão potente em sua capacidade de “colonizar”, ocupar, habitar

e apossar-se da natureza e das mais diferentes formas de saber e de ser (mulher, negra, indígena, homo/transexual...) (HAESBAERT, 2021, p 12.)

Nesse contexto, a colonialidade alcança também as relações sociais de gênero, podendo ser evidenciado pelos fenômenos sociais, quando analisa homens e mulheres em suas espacialidades. Maria Lugones (2014) propõe um olhar sobre a descolonização relacionados a questões de gênero no sentido de análise das variadas formas de subordinação, opressões, hierarquizações baseadas nas perspectivas da colonização.

Neste trabalho, buscamos focar na subjetividade/intersubjetividade para revelar que, desagregando opressões, desagregam-se as fontes subjetivas-intersubjetivas de agenciamento das mulheres colonizadas. Desta maneira, trazemos a análise da opressão de gênero racionalizada capitalista como "colonialidade de gênero" e chamamos a possibilidade de superar a colonialidade de gênero de "feminismo descolonial" (LUGONES, 2014). Maria Lugones nos chama atenção, entre outras questões, que o discurso das mulheres brancas não representa os discursos das mulheres negras e que é necessário compreender as multiplicidades tanto entre homens e mulheres como entre as próprias mulheres e suas especificidades de raça, classe, sexualidades e outros fatores.

Olharmos para as questões de gênero como uma compreensão das amarras da herança do colonialismo e também como uma tentativa de dar segmento sob a perspectiva descolonial é fundamental para que essa ciência geográfica que possibilita tais abordagens seja fortalecida e continuada. Tão importante quanto fortalecer e continuar a ciência, é encorpar as pesquisas feministas e de gênero ecoando junto às vozes das mulheres, sobretudo as que se encontram fora dos contextos mais visíveis.

DIALOGANDO SOBRE GÊNERO

Quando evidenciamos os espaços rurais da Amazônia com as mulheres rurais, trazemos o cenário das suas dificuldades, marcas patriarcais, coloniais e ausência de políticas públicas. No entanto, o espaço rural apresenta grande movimento de mulheres que se organizam pela busca de políticas públicas que sejam acessíveis a elas e ao coletivo.

Ao longo da história, vários foram os movimentos de luta para o empoderamento das mulheres, em busca de ocupar espaços que possam promover a equidade de gênero. Em relação às lutas feministas, essas se tornaram conhecidas a partir do século XIX. O século XX ficou marcado pelo recrudescimento

do movimento feminista, o qual ganharia novas matizes pela voz e representatividade política em boa parte dos países na luta por ampliar direitos para as mulheres.

A luta pela quebra do patriarcalismo, buscou a reconstrução dos dois espaços que na sociedade eram claramente definidos para participação do indivíduo: o público e o privado; o primeiro era ocupado por relações de poder, criação, decisões e autonomia; e o segundo ligado à reprodução, à invisibilidade e à dominação. O espaço privado, com pleno domínio patriarcal delimitava as participações de ocupação por gênero, sendo que o homem era visto como figura pública e, assim, detinha domínio sobre a mulher circunscrita ao espaço privado.

Neste sentido, no fim dos anos oitenta do Século XX, as mulheres rurais passaram a se organizar e a reivindicar seus direitos enquanto produtoras rurais, através dos movimentos de mulheres camponesas, questionando tanto a dominação masculina quanto a forma de trabalho construída para elas. Como consequência da redemocratização do país, esse assunto passa a entrar na pauta de discussões da agenda pública. A Constituição Federal de 1988 garantiu o acesso das mulheres rurais ao benefício da aposentadoria por idade, aos 55 anos, e a outros benefícios, tal como licença-maternidade remunerada. O direito à terra e ao desenvolvimento rural passam a ser discutidos. Até então, a mulher era vista apenas como uma mera participante da família, subordinada às decisões do marido, que detinha todos os direitos sobre a terra. “As políticas públicas não eram voltadas às demandas das mulheres, fazendo com que fossem excluídas sem acesso a direitos sobre a terra” (OLIVEIRA, 2013, p.127).

A perspectiva que estamos tratando, parte da compreensão do conceito de gênero, o que nos permite ampliar o conhecimento em relação à construção social, conforme o que Silva (2003) nos esclarece acerca da hierarquização, que passa a ser entendida não mais pelos corpos, mas sim pelo simbolismo construído pela sociedade.

Portanto, analisar essas questões de gênero implica compreender a desconstrução de alguns paradigmas sociais e as alterações dos processos e estruturas de poder. E, nessa perspectiva, os movimentos sociais, argumentados neste estudo, por oportunidades e papéis equitativos, também podem ser tratados como canal de enfrentamento para visibilizar essas questões vivenciadas na área rural pelas mulheres. O fortalecimento nesse sentido na área ribeirinha também ocorre através dos movimentos sociais organizados, que enfrentam obstáculos ligados às relações de gênero e às questões ambientais e sociais. De acordo com Siliprandi e Cintrão (2011), o ingresso nos movimentos de mulheres rurais tem garantido autonomia financeira, aumento da autoestima e também o

reconhecimento dos seus trabalhos pela família e comunidade, sendo vivenciadas novas experiências sociais.

A geógrafa Rosa Ester Rossini (2008) nos mostra que o enfoque de gênero deve se concentrar nos efeitos e impactos desiguais de políticas e estratégias de desenvolvimento, causados em homens e mulheres, pois a forma desigual resultante de políticas públicas e oportunidades, voltadas em sua maioria ao gênero masculino, deixa as mulheres cada vez mais vulneráveis e dependentes.

No que tange ao trabalho das mulheres rurais, não podemos deixar de reconhecer os estudos pioneiros e divisores de água da Geógrafa Rosa Ester Rossini nas décadas de 1970, 1980 e 1990, quando tratou do conceito de trabalho sob a perspectiva de agregar e evidenciar que a mulher trabalhadora rural existe e foi silenciada por essa estrutura dominadora. Rossini (1998), em seus estudos, analisou as relações de trabalhos baseadas nas discriminações e desigualdades mostrando as evidentes diferenciações do trabalho masculino e feminino nas práticas de produção e a luta pela sobrevivência de homens e de mulheres no trabalho agrícola: “O trabalho doméstico é uma importante parcela da produção socialmente necessária. Entretanto, numa sociedade onde a base é a produção de mercadorias, ele não é considerado um trabalho na verdadeira acepção da palavra, pois está fora da esfera da remuneração” (ROSSINI, 1998, p. 23).

Na jornada de trabalho, as mulheres rurais tiveram grande invisibilidade, esse entendimento de trabalho tem uma ligação com a questão da remuneração, e no meio rural as mulheres não tinham acesso ao espaço de decisão, contato com dinheiro, acesso à documentação de trabalhadora nem eram reconhecidas como trabalhadoras rurais. Assim por tempos os trabalhos delas eram vistos como apenas uma ajuda ao trabalho dos homens.

O acesso a essas políticas é uma forma de empoderamento para elas, onde as tornam mais autônomas em suas decisões e práticas, visto que as mulheres começam a se desprender da dependência econômica e geram suas rendas, tendo liberdade para fazer as suas próprias escolhas e gerenciar suas demandas organizacionais, conforme a geógrafa Maria das Graças S. Nascimento Silva (2011).

Atualmente, muitas mudanças foram notadas no meio rural no que diz respeito ao papel das mulheres na sociedade, cujas transformações estão diretamente ligadas à inserção em atividades produtivas, seja dentro ou fora do campo. As mulheres que residem neste meio são de suma importância para a diversificação de produtos, bem como para o sustento familiar (SOUSA; NASCIMENTO SILVA, 2011).

A articulação e a organização dessas mulheres trabalhadoras rurais, politicamente, é um fator que potencializa a construção do empoderamento, a partir da informação e de acesso às políticas públicas que possibilitem alguma equidade de gênero para essas mulheres. É fato que houve alguns avanços, por exemplo, acesso à documentação, direito à titulação da terra, reconhecimento como chefe de família, e o reconhecimento de ser trabalhadora rural. É importante salientar que a maioria dos avanços foram alcançados graças aos movimentos sociais organizados pelas mulheres rurais.

No entanto, com a chegada de técnicas novas de trabalho, maquinários e tecnologias, as capacitações das novas técnicas são direcionadas para homens, no sentido de que eles são postos como prioridades em dominar as máquinas e tecnologias, ficando as mulheres ainda com os trabalhos manuais. Também em relação às políticas públicas, sejam cursos, capacitações, não são acessíveis de forma igual para que as mulheres consigam se capacitar.

MULHERES RIBEIRINHAS

A mulher ribeirinha tem em seu contexto histórico, o processo de silenciamento que marcou sua trajetória de ocupação dos espaços. Uma vez que seu espaço é negado, ela não é notada em suas contribuições políticas e nem sociais. Segundo Pinheiro (2018) às mulheres ribeirinhas no decorrer da sua vida, vivenciam especificidades como a dificuldade de acesso às políticas públicas, desigualdade social e de gênero. Sousa (2019) coloca que na geografia as discussões sobre as histórias pioneiras dos sujeitos na Amazônia sempre visibilizam os homens, desbravadores, soldados da borracha e seringueiros. Assim muitas mulheres que viveram nesses espaços e que tiveram papel tão importante e não receberam a atenção dos estudiosos, não foram ouvidas e tiveram suas ações silenciadas.

A mulher ribeirinha tem em sua trajetória, lutas e desafios, principalmente na tentativa de romper barreiras políticas e sociais. Nessa nova construção, elas conciliam o trabalho, os estudos e a família com as atividades do movimento. “Para elas, o envolvimento nos movimentos sociais é importante para alcançar os objetivos pautados” (PINHEIRO, 2018, pg. 68).

Nesta temática, trazemos as mulheres ribeirinhas da comunidade de Nazaré, essa comunidade é sede do Distrito de Nazaré, localizada às margens do Rio Madeira, a 100 quilômetros da cidade de Porto Velho. A viagem à comunidade de Nazaré é quase que exclusivamente por via fluvial, com duração em média de oito horas, em barco tipo “recreio”, que sai do porto de Porto Velho com destino direto para Manaus-AM, com parada nas comunidades e cidades localizadas às margens do rio.

Dependendo do período e do tipo da embarcação que se utiliza, verifica-se que nos períodos de cheia, de novembro a abril, a duração das viagens é inferior às dos períodos de vazante, quando surgem ao longo do leito do rio, bancos de areia e o perigo dos afloramentos rochosos, os “pedrais” que dificultam a navegação.

As mulheres rurais ribeirinhas que vivem na região são da Amazônia, tem características que a tornam singulares, em meio às peculiaridades de um relacionamento natureza-trabalho que precisa ser entendido com suas especificidades históricas e culturais.

As mulheres ribeirinhas têm nessa espacialidade amazônica o saber/conhecimento local na tradição da saúde na comunidade e do cuidar. Evidenciando nesse contexto as mulheres parteiras, elas se sobressaem em especial atenção e dedicação, por serem as únicas referências de saúde e humanização a se deslocar para comunidades mais distantes. Com todo o seu saber tradicional, estas mulheres são responsáveis pela alimentação e nutriz da grávida, bem como a orientação ao consumo de certos alimentos, o que pode ou não ser ingerido (NASCIMENTO SILVA, 2004).

No que se refere ao trabalho, o dia-a-dia das mulheres ribeirinhas é composto por uma jornada de trabalho que vai desde dos afazeres domésticos, trabalho na roça, trabalho na vendinha, havendo ainda as atividades de artesanato, cuidados com filhos, limpezas dos quintais, a pesca entre outros afazeres.

No espaço ribeirinho o cotidiano é dinâmico e depende de alguns fatores naturais como o período de cheia, de estiagem, de festejos culturais (geralmente ligados a colheitas) na comunidade é reconhecido e comemorado o festejo da melancia. Assim, cada momento/período movimenta toda uma logística e ações dentro da comunidade. Os festejos católicos em dias santos, também são cultuados na comunidade com toda sua carga de festividades e simbolismos. As mulheres desempenham atividades centrais nessas organizações.

As mulheres ribeirinhas dessa região sempre estiveram envolvidas nos trabalhos das atividades das comunidades, porém na associação elas geralmente tinham pouca voz, ou seja, no que tange às decisões comunitárias ligados às políticas públicas, elas não tinham visibilidades nem suas pautas eram ouvidas, impulsionando-as a se organizarem em um movimento de mulheres.

O movimento social das mulheres rurais ribeirinhas do distrito de Nazaré – RO, Médio e Baixo Madeira, surgiu mediante reivindicações e acesso de luta e conquista no espaço rural desencadeando mudanças significativas, sendo um exemplo a conquista do direito à documentação e à educação. As mulheres

desse movimento levantam a bandeira de suas comunidades, buscando que os seus problemas e necessidades sejam mostrados ao público, chamando a atenção dos gestores governamentais.

No decorrer da trajetória do movimento, as mulheres realizaram o primeiro Encontro de Mulheres do Médio e Baixo Madeira, em busca de resoluções de pautas coletivas e específicas de cada localidade, que mulheres se unem e integram esse movimento. No ano de 2014 foi realizado o 1º Encontro de Mulheres Ribeirinhas do Médio e Baixo Madeira, em parceria com a Secretaria Estadual da Assistência e do Desenvolvimento Social (SEAS), que reuniu mulheres de grande parte das comunidades ribeirinhas, pelo qual debateram sobre as demandas e pontuaram as conquistas, como segue abaixo:

- Transporte escolar (Entrega de voadeiras escolares), onde havia grande necessidade, pois, os educandos precisavam de apoio para fortalecimento educativo e acesso ao ambiente escolar, melhorando o percurso e a permanência na escola.
- Acesso à tecnologia (Computadores para as escolas), havendo grande ganho, quanto aos aspectos de informação e troca, beneficiando o progresso, para se alcançar novas oportunidades.
- Cursos (artesanato, biojóias, sabonetes e glicerizados), que proporcionam melhorias na fonte de renda e oportunidade de novos aprendizados. (PINHEIRO 2018, p 82).

Na oportunidade do encontro, foi feita uma carta aberta para ser apresentada às secretarias do estado e do município, para fixação de possíveis parcerias ao movimento. Essa carta foi redigida em conjunto por todas as mulheres que tiveram voz em declarar as especificidades que achavam importantes elencar.

Um dos principais motivos para que muitas mulheres não participem assiduamente do movimento está ligado à logística, pois como foi dito anteriormente, as comunidades ficam distantes uma das outras e o transporte é unicamente por via fluvial, sendo que nem todas as famílias possuem transporte próprio à disposição, ou ainda, combustível para poderem ir até à localidade dos encontros do movimento. Pensando nisso, uma das pautas principais contidas no movimento é justamente o apoio logístico, para que seja possível, então, a participação de todas as mulheres.

O processo de luta e conquista no espaço rural desencadeou mudanças significativas, sendo um exemplo a conquista do direito à documentação e à educação. Nesse contexto as políticas públicas, têm função essencial no que se refere às amplitudes dos direitos humanos e trazem consigo, a partir da inserção a novos usufrutos a melhoria da qualidade de vida e a força da igualdade social.

As mulheres ribeirinhas da Amazônia têm movimentado toda uma estrutura política, com o crescente envolvimento nos movimentos rurais, onde elas se articulam e enfrentam suas realidades, buscando direitos e conquistas. Essa crescente participação e o envolvimento no âmbito político contribuem para uma nova dinamização das relações sociais existentes, novas espacialidades, novas expectativas e trajetórias que se redefine progressivamente dentro de suas localidades, que são demonstradas através das novas espacialidades que a mulher vem ocupando. A articulação e a organização dessas mulheres, politicamente, é um fator que potencializa a construção do empoderamento a partir da informação e de acesso às políticas públicas.

Podem ser entendidas como políticas públicas contra hegemônicas as políticas públicas de gênero destinadas para mulheres rurais no envolvimento das relações entre sociedade civil e Estado, pois estão diretamente ligadas com a visão de autonomia financeira, participação política e cidadania, na qual interagem com os debates que estão na agenda pública do país, que envolvem as questões rurais acerca da sustentabilidade e solidariedade (FILIPAK, 2017).

Em 2004 o Governo Federal criou o Programa de Documentação das Trabalhadoras Rurais (PNDTR), com o objetivo de alcançar as mulheres que se encontram em áreas rurais, com a realização de mutirões de documentação. Em 2013 foram realizados mutirões para atender o Baixo, Médio e Alto Madeira, comunidades ribeirinhas localizadas no Rio Madeira.

Outra política pública voltada para a população ribeirinha feminina é o Seguro Defeso, que é a paralisação temporária da pesca para a reprodução das espécies de peixes. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, nesse período é garantido por Lei (nº 13.134, de 14 de junho de 2015) ao pescador profissional artesanal o pagamento do seguro-defeso, no valor de um salário mínimo mensal, que é o seguro-desemprego especial pago a pescadores. Para as mulheres pescadoras, em que seu trabalho “normalizou-se” por nem sempre ser reconhecido e ser tratado apenas como uma “ajuda”, isso a impossibilita de receber o benefício. Se torna burocrático além de existirem outros fatores que as impedem de acessar o benefício, como a falta de documentos pessoais e a falta de recursos para se deslocar até a cidade próxima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao tratarmos de colonialidades podemos entender que elas alcançam também as relações sociais de gênero, podendo ser evidenciado pelos fenômenos sociais, quando analisa homens e mulheres em suas espacialidades. Não sendo o principal diálogo o que passou, mas sim as marcas que estão sendo

enfrentadas pelas mulheres ribeirinhas no decorrer de suas trajetórias. No cenário acadêmico, essas lutas se apresentam no campo da ciência geográfica para estudos e análises com enfoque de gênero com a chamada nova geografia.

Os estudos na área rural ribeirinha são ferramentas essenciais para explicar as especificidades do espaço rural ribeirinho, e trazer as mulheres ribeirinhas para o centro do diálogo é dar o reconhecimento de suas lutas em relação às estruturas sociais, políticas e econômicas. Assim é possível destacar que novas construções sociais começaram a ser alcançadas e construídas pelas mulheres, ao passo que suas iniciativas políticas e organizativas se desenrolam, provocando maiores níveis de visibilidade política e social para o grupo. As lutas das mulheres são evidenciadas como fator de impulsão para a melhoria da sua condição de vida e para os avanços na conquista da autonomia.

As políticas públicas, no contexto rural ribeirinho, têm função essencial no que se refere às amplitudes dos direitos humanos e trazem consigo, a partir da apropriação, a força da igualdade social. Portanto, as mulheres têm pautado políticas específicas que sejam viáveis, e equidade no acesso de direitos, de modo a desconstruir os entraves que estiveram presentes em sua trajetória histórica, como o próprio enfrentamento de gênero, em relação aos espaços de falta, de decisão, de partilha do “poder”, ou seja, enfrentamento a toda forma de dominação.

REFERÊNCIAS

- AGRA, Klondy Lúcia De Oliveira. O viver amazônico e a colonialidade. Anais do XIV ENANPEGE... Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/77528>
- AMORIM FILHO, Osvaldo Bueno. A pluralidade da Geografia e a necessidade das abordagens culturais. In: Da percepção e cognição à representação: reconstruções teóricas da Geografia Cultural e Humanista. São Paulo: Terceira Margem, 2007.
- BRUMER, A.; ANJOS, G. Relações de Gênero em Assentamentos: a noção de empoderamento em questão. In: Adriana L. Lopes; Andrea Butto. (Org.). Mulheres na Reforma Agrária: a experiência recente no Brasil. 1ed.Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2008, v., p. 217-240.
- CASTRO-GOMEZ, Santiago. La poscolonialidad explicada a los niños. Popayán: Editorial Universidad del Cauca. 2005.
- FILIPAK, A. Políticas públicas para mulheres rurais no Brasil (2003-2005): análise a partir da percepção de mulheres rurais e de movimentos sociais mistos. 2017. Tese (Doutorado) - Ciências Sociais. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Filosofia e Ciências, 2017.
- GOMES, Nilma Lino. "O movimento negro e a intelectualidade negra descolonizando os currículos". In: Bernardino-Costa, Joaze; Maldonado-Torres, Nelson, Grosfoguel, Ramón (orgs.). Decolonialidade e pensamento afrodiaspórico. 1ª ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2018.
- HAESBAERT, Rogério. Território e descolonialidade: sobre o giro (multi)territorial/de(s)colonial na "América Latina". Buenos Aires, Buenos Aires: CLACSO, 2021.
- LUGONES, María. Colonialidade e gênero. Tabula Rasa. Bogotá. Nº 9: 73-101, jul-dez, 2008.
- LUGONES, María. Rumo a um feminismo descolonial. Tradução de Juan Ricardo Aparicio e Mario Blaser. Estudos Feministas, Florianópolis, v. 22, n. 3. Setembro-dezembro/2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-026X2014000300013>.
- MASSEY, Doreen. Pelo espaço: uma nova política da espacialidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. (2008).
- MASSEY, Doreen; KEYNES, Milton. Filosofia e política da espacialidade: Algumas considerações. Tradução: Rogério Haesbaert. Revista GEOgraphia, ano 6, nº 12, 2004. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2004.v6i12.a13477>
- MASSEY, Doreen. Space, place and gender. Minneapolis: University of Minnesota Press. 1994
- MERLEAU-PONTY, M. Fenomenologia da Percepção. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- NASCIMENTO SILVA, M. G. S; SILVA, J.M. Interseccionalidades, gênero e sexualidade na análise espacial. Ponta Grossa, toda palavra, 2014.

NASCIMENTO SILVA, Maria das Graças Silva. Geografia e Gênero em Assentamentos Rurais: Espaço de Poder. In SILVA, Joseli Maria; SILVA, Cesar Pinheiro da. (Org.) espaço, gênero e poder: conectando fronteiras. Ponta Grossa. Todapalavra, 2011. ISSN: 978-85-62450-23-5.

NASCIMENTO SILVA, Maria das Graças Silva. O Espaço Ribeirinho. São Paulo: Terceira Margem, 2000.

NASCIMENTO SILVA, Maria das Graças Silva. Parteiras ribeirinhas: saúde da mulher e o saber local. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, 2004; orientadora Rosa Carmina de Sena Couto. Belém: [s.n.], 2004; 215 f.: il. 29 cm.

OLIVEIRA, Cláudia Nascimento. Um Lugar para chamar de meu: as Agrovilas do Assentamento Rural Joana D'Arc III e seus migrantes. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação-Mestrado em Geografia da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR). Porto Velho, 2013.

PINHEIRO, Tainá Trindade. Gênero e empoderamento no distrito de Nazaré - Rondônia: Espacialidades das mulheres ribeirinhas. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, 2018.

QUIJANO, Aníbal. A colonialidade de poder, eurocentrismo e América Latina. In: LANDER, E. A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais latino-americanas. Buenos Aires: CLACSO, 2005.

QUIJANO, Aníbal. Colonialidade do poder e classificação social. In: B.S. Santos e M. Meneses (Eds.). Epistemologias do Sul. São Paulo: Cortez. 2010.

ROSSINI, R.E. As Geografias da Modernidade- Geografia e Gênero, mulher, trabalho e família: o exemplo da área de Ribeirão Preto. In Revista do Departamento de Geografia-NEMGE. Universidade de São Paulo –USP, Nr 12 pag. 07 a 26, 1998. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1998.0012.0001>.

ROSSINI, Rosa Ester; CALIÓ, S. A. Gênero e Meio Ambiente na Amazônia Brasileira. In: Seminário Internacional: Fazendo Gênero 8: corpo, violência e poder. 2008. Disponível: http://www.wwc2017.eventos.dype.com.br/fg8/sts/ST49/Rossini-Calio_49.pdf.

SANTOS, Renato Emerson dos. O movimento negro brasileiro e sua luta anti-racismo: por uma perspectiva descolonial. IV Encuentro de la cátedra América Latina y Colonialidad del Poder: Rio de Janeiro, 2013.

SILIPRANDI, E.; CINTRÃO, R. As mulheres agricultoras e sua participação no Programa de Aquisição de Alimentos (PAA). In: BUTTO, Andrea; DANTAS, Isolda. (Org.). Autonomia e cidadania: políticas de organizações produtivas para mulheres no meio rural. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Brasília, 2011. DOI: <https://doi.org/10.20396/san.v18i2.8634675>.

SILVA, Joseli Maria. Ensaio sobre as potencialidades do uso do conceito de gênero na análise geográfica. Revista de História Regional 8(1): 31-45, Versão 2003.

SOUSA, R. E. M; NASCIMENTO SILVA, M. G. S. Mulher, a quebra do paradigma da função reprodutora. Revista Geografares, nº 10, p. 203-224, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7147/GEO10.1694>.

SOUSA, R. E. M. "Aqui tudo é do rio, se ele quer levar, deixa levar": gênero, identidade e lugar das mulheres ribeirinhas em Nazaré, Porto Velho, Rondônia. 2019. 160 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

Capítulo 3



10.37423/250309826

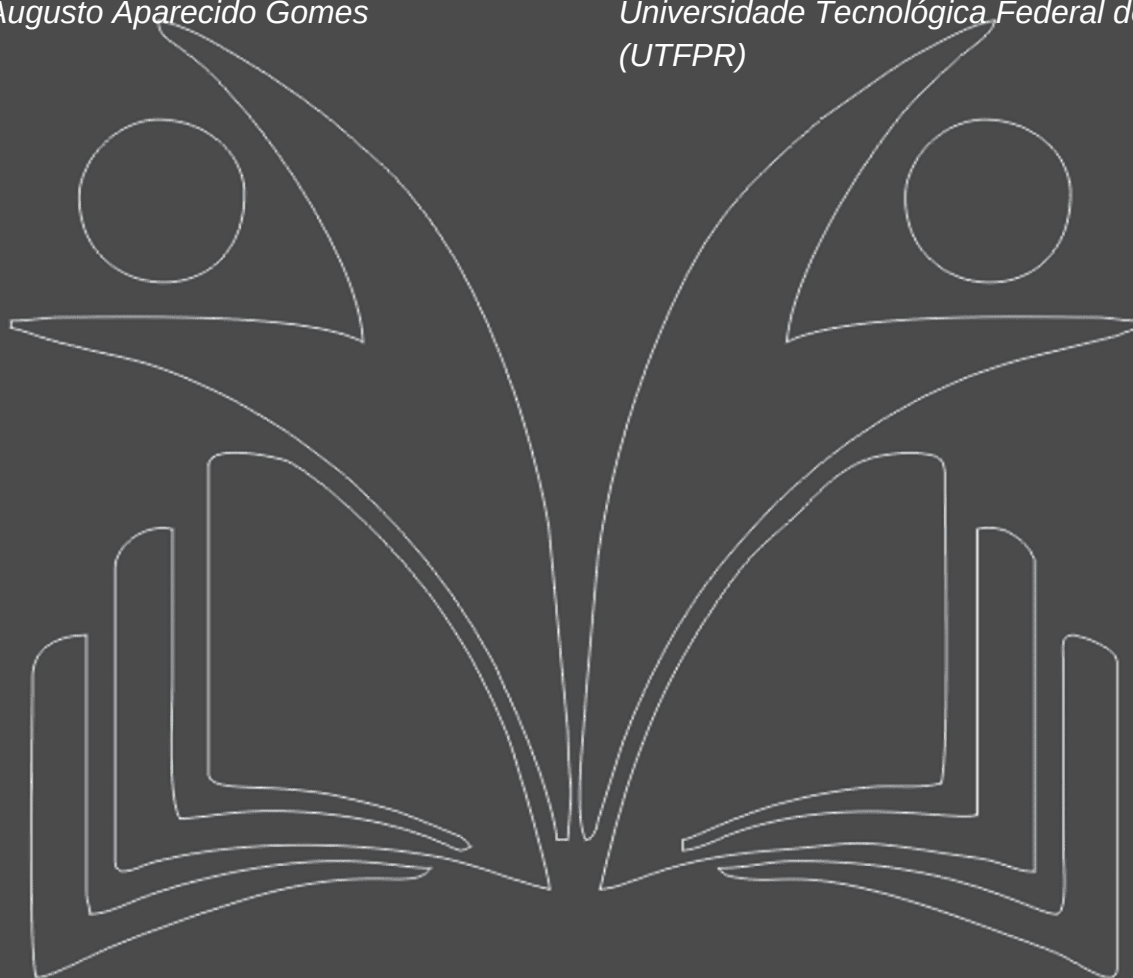
ESTUDO NUMÉRICO DO ARREFECIMENTO TÉRMICO DE UM GERADOR EÓLICO DE IMÃ PERMANENTE

Gustavo Martinho Sampaio Ito

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)*

Francisco Augusto Aparecido Gomes

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)*



Resumo: Para a indústria da geração de energia eólica, a manutenção dos geradores eólicos é algo que demanda muito tempo. Assim o dimensionamento de seu arrefecimento se torna um ponto chave, pois exceto as partes que contem movimento, sua vida útil é estimada de acordo com o desgaste do isolante. Assim, a alteração da geometria externa do carter considerando aletas que proporcionem maior eficiência no arrefecimento térmico, é possível otimizar a efetividade em transferência de calor, podendo aumentar a vida útil do gerador. Este trabalho tem como o objetivo estudar numericamente a otimização do arrefecimento térmico de um gerador de ímã permanente através do o método de volumes finitos (MVF), pela alteração da geometria das aletas do carter do gerador, assim como considerar o efeito do movimento do rotor. As geometrias que serão abordadas nesse trabalho são contínuas de matrizes tubulares alinhada e alternada. Os resultados obtidos nesse trabalho, apresentaram coerência física e valores menores de temperatura máxima no estator do gerador, quando comparados com os resultados obtidos no trabalho de Bazzo (2017). Sendo portanto, uma opção que poderia ser utilizada para otimizar o arrefecimento térmico do gerador.

Palavras-chave: Otimização; Método de volumes finitos (MVF); Arrefecimento; Gerador eólico de ímã permanente.

INTRODUÇÃO

A utilização de geradores eólico vem se destacando muito no ramo de geração de energia. E em relação a geração de energia Bazzo (2017) comenta que a geração de energia elétrica, algumas fontes primárias disponíveis no planeta Terra foram e continuam sendo utilizadas num ritmo muito superior ao necessário para sua reposição natural, sendo conhecidas, por este motivo, como fontes esgotáveis ou não renováveis. Dentre estas fontes se destacam os combustíveis fósseis como carvão mineral, petróleo e gás natural, largamente utilizados em geração de eletricidade e transporte. No entanto, a utilização indiscriminada destes recursos confronta com dois fatos importantes: trata-se de fontes esgotáveis e são poluentes. Assim aerogeradores sendo uma fonte de menos poluente, vem se destacando dependendo apenas da condição do vento para gerar energia.

Mas mesmo os geradores eólicos serem vantajosos por não poluírem tanto, ele demanda de manutenção e o tempo exigido para manutenção é alto. No gerador se não considerarmos as partes moveis como a caixa de engrenagens, a vida útil é determinada pelo isolante. Segundo Taras et al. (2022) o aumento da temperatura de um isolante acima do valor da classe pode levar a redução da vida útil do isolamento ou mesmo à falha. Ele também comenta sobre uma regra geral que para cada aumento de 10 °C acima em relação ao valor da classe do isolante, a vida útil do isolamento diminui pela metade. Como as perdas em Joule nos enrolamentos são significativos, é crucial escolher o sistema de isolamento correto e permanecer dentro dos limites térmicos de segurança durante a vida útil da máquina.

Assim ter um arrefecimento ideal para o gerador eólico impactará diretamente sua vida útil. E Bergman; Lavine (2019) comentam que a aleta é a forma mais comum para arrefecimento, pois aumenta a transferência de calor por convecção para um fluido adjacente. Além de determinar as distribuições de temperatura e taxas de transferência de calor correspondente, Ozisik (1985). Mudar a geometria externa do gerador elétrico terá impacto em sua eficiente, como por exemplo a eficiência de transferência de calor da aleta triangular é maior que a retangular, favorecendo a transferência de calor por convecção para o fluido adjacente, Kraus et al. (2001).

Geometrias mais complexas utilizadas para arrefecimento como, por exemplo, aletas nos formatos matrizes tubulares alinhado e alternado no formato triangular de 60°. Segundo Holman (2010) devem ser testadas sob condições próximas ou reais condições de operação para determinar seu desempenho com confiabilidade aceitável.

O formato geométrico de matriz tubular é caracterizado por gerar uma grande turbulência. Não é comum a utilização de matrizes no formato tubular para escoamento externo. Segundo Bergman; Lavine (2019), as aletas no formato de matriz tubular são mais aplicada na indústria de geração de vapor, como em caldeiras, e resfriamento de ar em serpentina de ar-condicionado, em forma de um escoamento cruzado onde um fluido escoará pelos tubos e haverá outro fluido que escoará na superfície dos tubos.

Para desenvolver uma pesquisa sobre esses tipos de geometrias citadas para o escoamento externo é necessário fazer um estudo sobre o fluxo de ar através da geometria. Como as geometrias citadas são complexas, torna-se um obstáculo a uma solução experimental viável, justificando a utilização de simulações computacionais, conhecida como dinâmica de fluidos computacional (CFD: *Computational Fluid Dynamics*). Segundo Blomquist (2018), o CFD usa métodos numéricos para simular fenômenos de transferência de calor e escoamento de fluidos. Esse número de simulações requerem a solução de grandes sistemas algébricos lineares que surgem da discretização das equações governantes e o número de nós na malha discretizada é diretamente relacionado à precisão da simulação. Uma malha mais fina, com mais nós, resulta em melhor precisão (acurácia) numérica, Blazek (2001), Lohner (2008), Lo (2014). No entanto, os recursos computacionais necessários para resolver os sistemas lineares e o tempo geral de solução da simulação aumenta com um aumento do número de nós.

À medida que os profissionais continuam a desenvolver simulações que requerem malhas finas, a necessidade de melhores métodos para resolver sistemas lineares torna-se particularmente importante. E segundo Blazek (2001) as metodologias CFD são rotineiramente empregadas nas áreas de projetos de turbo máquinas, automóveis e navios. Além disso, também é aplicado em meteorologia, oceanografia, astrofísica, biologia e recuperação de petróleo. E está se tornando uma ferramenta de design cada vez mais importante em engenharia, e uma importante ferramenta de pesquisa em diversas ciências.

Este trabalho tem como objetivo estudar numericamente o arrefecimento térmico de um gerador eólico de ímã permanentes, i.e., estudar a transferência de calor através do carter do gerador elétrico. Tendo como referência principal, a pesquisa desenvolvida na tese de doutorado de Bazzo (2017). Na qual foi utilizada uma condição de contorno convectiva de forma simplificada, que desconsiderou efeitos térmicos que poderiam ter ocorrido devido à influência do movimento do rotor. O gerador eólico de ímã permanentes que foi utilizado no presente estudo, é um padrão comercial sendo muito utilizado para a geração de energia devido sua vantagem de ser acoplado diretamente à turbina.

Mesmo com essa vantagem de ser acoplado diretamente à turbina, a manutenção do gerador eólico demanda tempo.

Portanto, a otimização do sistema de arrefecimento do gerador impactará diretamente na vida útil do mesmo, assim como, no estabelecimento de suas condições operacionais. E com a mudança da geometria externa do carter a redução na temperatura pode ser obtida sem a necessidade de um arrefecimento forçado como por exemplo, sem a necessidade de utilizar ventiladores interno. E com essa mudança poderá reduzir o número de equipamentos de arrefecimento, assim como a periodicidade de manutenção.

No presente trabalho foi simulado numericamente a transferência de calor através do carter com aletas de seção transversal circular. O modelo numérico foi desenvolvido no software ANSYS-Fluent, via método de volumes finitos, Patankar (1980), Blazek (2001), Moukalled et al. (2015). Os resultados obtidos foram comparados com os resultados Bazzo (2017), que utilizou aletas de seção transversal retangular. Com seção transversal circular, observa-se uma redução significativa de temperatura no carter, indicando uma otimização no processo de arrefecimento do gerador eólico de ímãs permanente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GERADOR SÍNCRONO

Segundo Bazzo (2017) geradores síncronos com grande número de polos é uma opção comum em aerogeradores de médio e grande porte e, muitas vezes possuindo excitação por ímãs permanentes. E por possuírem muitos polos, sua rotação é baixa. O que permite um acoplamento direto com a turbina eólica sem a necessidade de uma caixa multiplicado de velocidade.

A turbina eólica neste trabalho, foi baseado no trabalho feito por Bazzo (2017), na qual adota turbinas com potência de 50 kW. E tendo a velocidade nominal do vento V_{nom} igual a 11 m/s e o coeficiente de velocidade específico λ igual a 6,09. Assim sua rotação nominal é dada pela equação 2.1.

$$n_{nom} = \frac{\lambda \cdot V_{nom} \cdot 60}{\pi \cdot D} \quad (2.1)$$

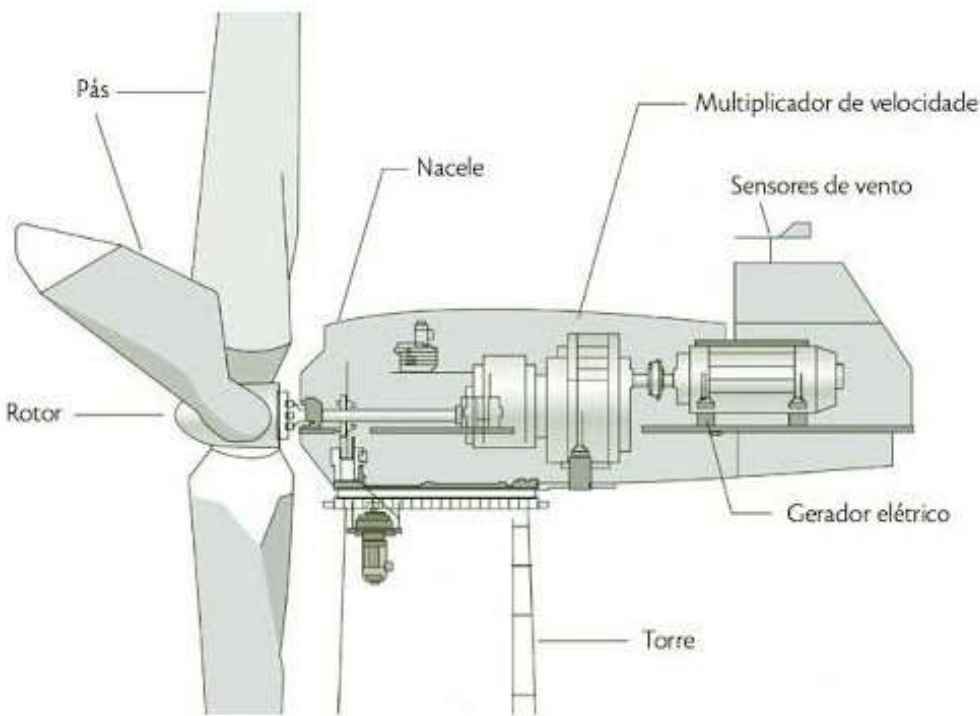
Assim, as principais características do gerador eólico de ímãs permanentes, estão listadas na tabela 1. E os componentes do gerador eólico são apresentados na figura 1 e os componentes do gerador elétrico estão na figura 2

Tabela 1 - Principais características da turbina eólica adotada

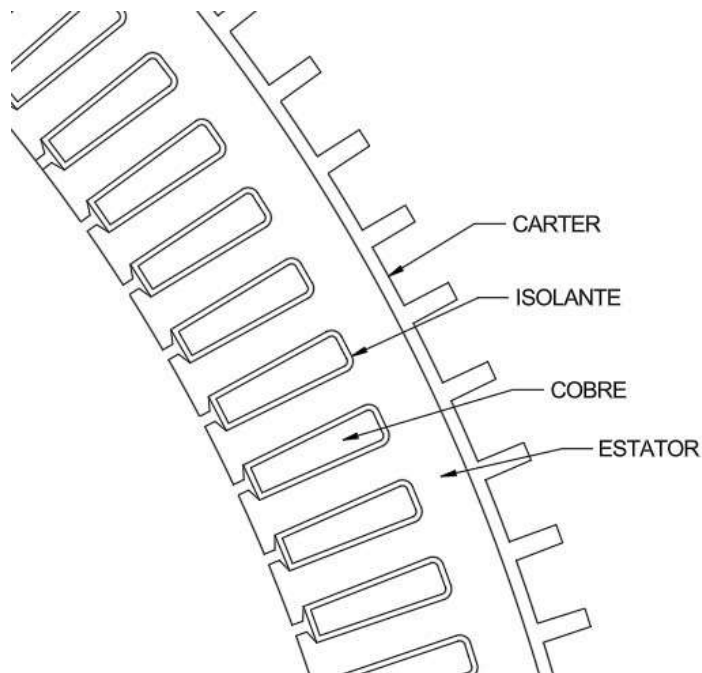
Diâmetro – D(m)	15,6
Potência nominal no eixo –$P_{m,nom}$ (kW)	54,5
Rotação nominal – n_{nom} (rpm)	82,0
Velocidade de vento nominal – V_{nom} (m/s)	11
Valor máximo de Coef. de potência - C_p	0,35

Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

Figura 1- Componentes do gerador eólico



Fonte: Windbox (2025).

Figura 2- Componentes do gerador elétrico

Fonte: Autoria própria (2024)

O carter é a estrutura externa do gerador eólico, desempenha um papel de auxiliar o resfriamento dos componentes internos através do aumento da superfície de contato com a utilização de aletas. E devido a geometria complexa, é geralmente fabricado através do processo de fundição com ferro fundido cinzento. Neste trabalho, será focado o aprimoramento dessa peça, visando melhorar sua eficiência para o arrefecimento dos componentes internos do gerador eólico.

Na tese de Bazzo (2017), o isolante utilizado é uma classe H, com um limite de temperatura de 180°C. Esse tipo de isolante é amplamente empregado em geradores eólicos devido à sua notável resistência térmica, sendo uma escolha frequente para garantir o desempenho confiável desses sistemas.

2.2 ALETAS

Holman (2010) destaca diferentes tipos de aletas, os quais são ilustrados na Figura 3. Sendo a figura 3-a uma aleta retangular, a figura 3-b uma retangular em uma superfície cilíndrica, sendo algo próximo a carcaça utilizada no gerador, a figura

3-c uma aleta circular e a figura 3-d uma aleta cilíndrica. Ele apresenta uma comparação das eficiências de uma aleta triangular e uma aleta retangular reta, figura 4. Mostrando assim a eficiência na transferência de calor na aleta triangular ser maior que a retangular.

Figura 3 - Diferentes tipos de superfícies revestidas

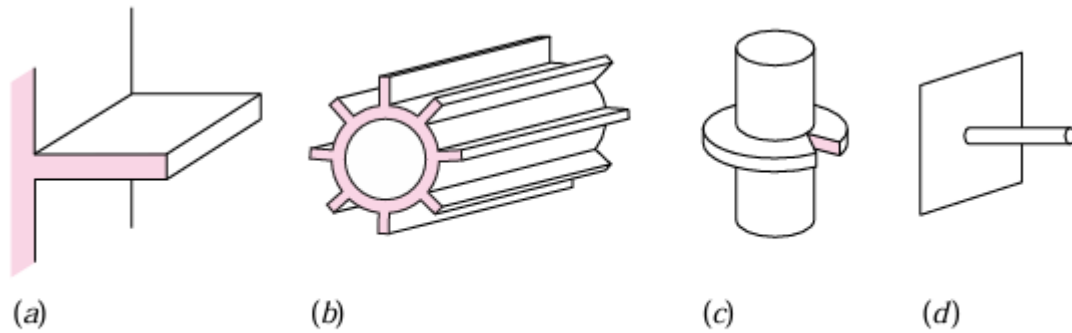
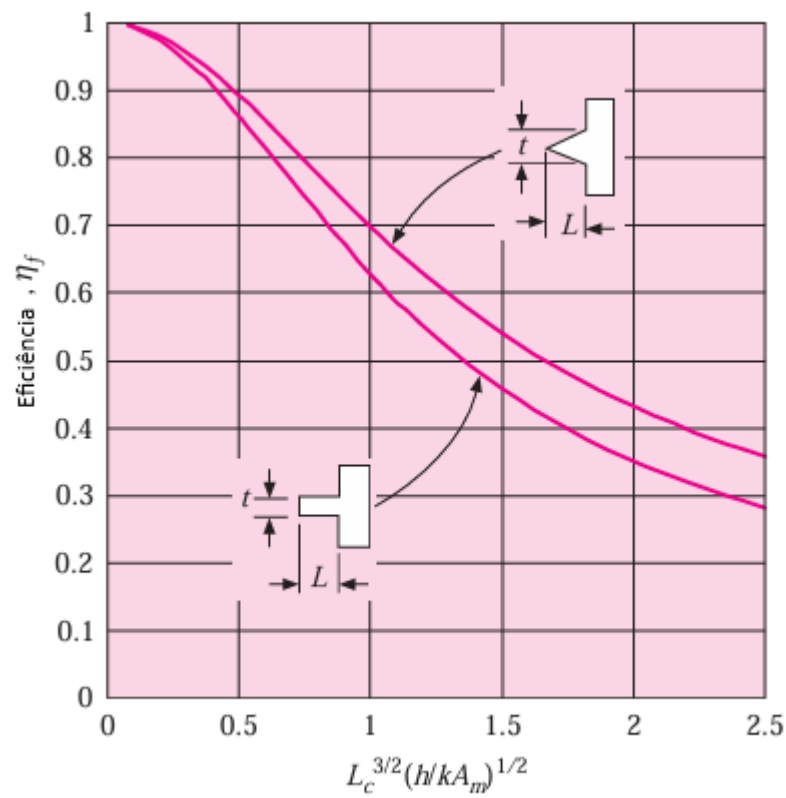


Figura 4 - Gráfico de eficiência das aletas retangulares e triangulares



Fonte: Holman (2010)

onde L_c é o comprimento corrigido da aleta e A_m é área do perfil da aleta, equações 2.2 e 2.3, respectivamente.

$$L_c = L + \frac{t}{2} \rightarrow \text{Retangular} \quad (2.2)$$

$$L \rightarrow \text{Triangular}$$

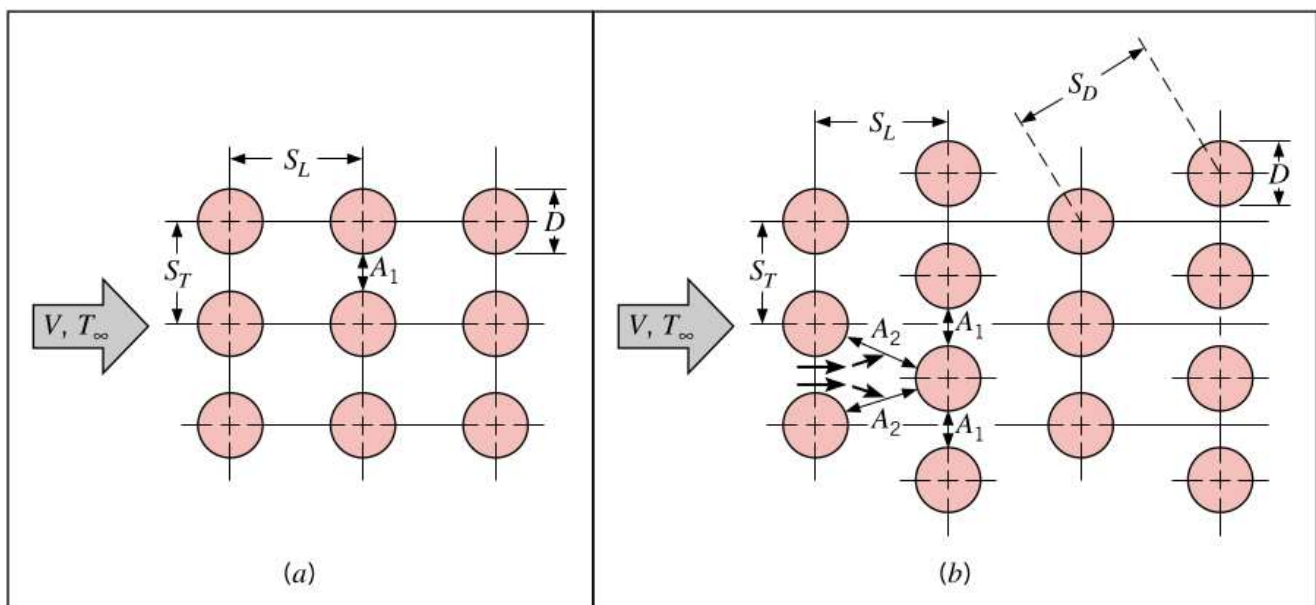
$$tL_c \rightarrow \text{Retangular} \quad (2.3)$$

$$A_m = \frac{t}{2} L \rightarrow \text{Triangular}$$

2.3 TROCADOR DE CALOR NO FORMATO DE MATRIZES TUBULARES

Bergman; Lavine (2019) ressaltam a utilização das matrizes tubulares na indústria de geração de vapor e resfriamento de ar em serpentinhas. Tendo os arranjos alinhados e alternados. Também destacam que a configuração desse tipo de arranjo, será denominada pelo diâmetro do tubo D , passo transversal ST e passo longitudinal SL , figura 5.

Figura 5 – Arranjo de matrizes tubulares alinhadas e alternadas.



Fonte: Bergman; Lavine (2019)

Para determinar a distância ideal entre os tubos, Bergman; Lavine (2019) utilizam a equação 2.4 e 2.5. E assim utilizando da tabela 2 para se obter as constantes da equação.

$$\frac{S_L}{D} \quad (2.4)$$

$$\frac{S_T}{D} \quad (2.5)$$

A equação 2.6 que se obtêm o número de Nusselt (Nu) na qual utiliza o número Reynolds da equação 2.7 para se obter. A equação 2.6 utilizada sobre as condições de $N_L \geq 10$, $2000 \leq Re_{D_{max}} \leq 40000$, $Pr = 0,7$.

$$\overline{Nu}_D = C_1 Re_{max}^m \quad (2.6)$$

$$Re_{D_{max}} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \quad (2.7)$$

Para as constantes presentes na equação 2.6, utilizar a tabela 2.

Tabela 2 - Constante das equações 2.6 para escoamento de ar sobre matriz tubular de 10 ou mais colunas

S_T / D				
1,25			1,5	
S_L / D	C_1	m	C_1	m
Alinhada				
1,25	0,348	0,592	0,275	0,608
1,5	0,367	0,586	0,250	0,620
Alternada				
1,250	0,518	0,556	0,505	

Fonte: Adaptado de Bergman; Lavine (2019)

E para um número de colunas menor que 10, Bergman; Lavine (2019) utiliza-se a equação 2.8 e um fator de correção da tabela 3.

$$\overline{Nu}_{D, N_L \leq 10} = C_2 \overline{Nu}_{D, N_L \geq 10} \quad (2.8)$$

Tabela 3 - Fator de correção C2 para a equação 2.8

N_L	4	5	6
Alinhada	0,90	0,92	0,94
Alternada	0,89	0,92	0,95

Fonte: Adaptado de Bergman; Lavine (2019)

3 METODOLOGIA

3.1 ESPECIFICAÇÃO DO GERADOR EÓLICO

O modelo adotado neste trabalho foi baseado no trabalho de Bazzo (2017) modelo G1, que se refere à otimização para minimização do custo de materiais. As dimensões dessa geometria estão listadas na tabela 4 e o desenho do gerador é apresentado nas figuras 6 a 8.

Tabela 4 - Dimensão do Gerador elétrico otimizado para minimização do custo de materiais

Abertura da ranhura (mm)	3,00
Altura da coroa do estator (mm)	14,82
Altura da coroa do rotor (mm)	15,05
Altura do colarinho da ran. (mm)	1,47
Altura do pescoço da ranhura (mm)	3,00
Comprimento do entreferro (mm)	0,91
Comprimento do pacote (mm)	131,99
Diâmetro externo do rotor (mm)	909,94
Diâmetro externo do estator (mm)	1026,52
Diâmetro interno do estator (mm)	911,76
Diâmetro interno do rotor (mm)	861,64
Largura do dente (mm)	10,00
Largura do fundo da ranhura (mm)	11,75
Largura do topo da ranhura (mm)	10,09
Profundidade da ranhura (mm)	38,09
Largura da aleta – t (mm)	13
Comprimento – L (mm)	131,99
Número de aletas	144
Espessura (mm)	5

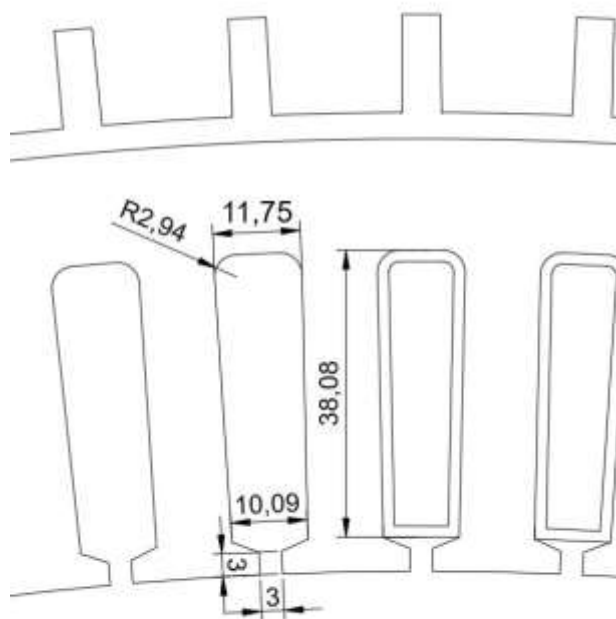
Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

Figura 5 - Gerador elétrico modelo G1

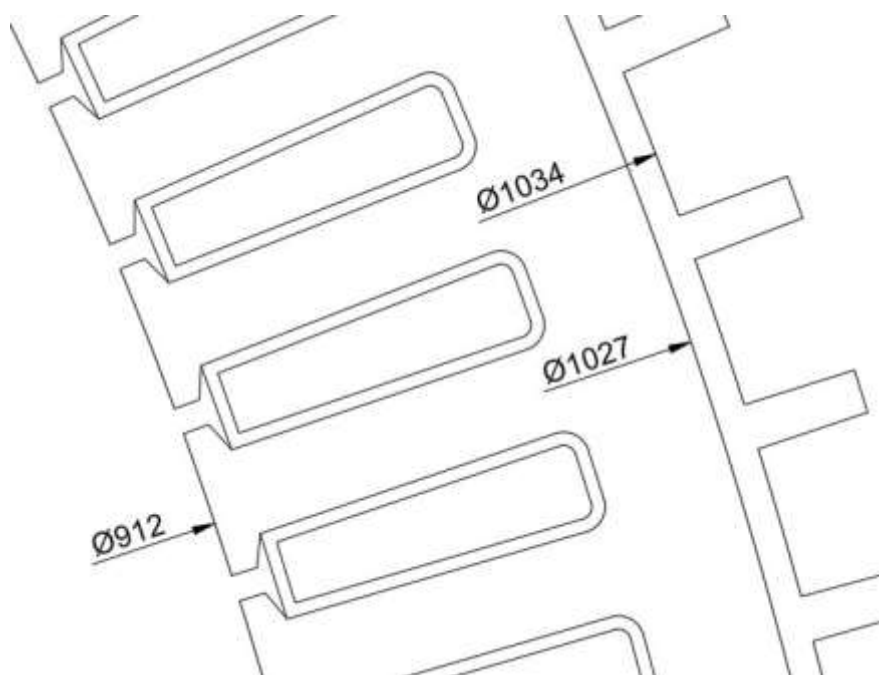


Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

Figura 6 - Gerador elétrico detalhes do dente do estator



Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

Figura 7 - Gerador elétrico detalhes

Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

3.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A classe do isolante é definida entre 105 °C (classe A) e 180 °C (classe H). Um aumento de 10 °C da temperatura definida como máxima para o isolante, reduz a vida útil do isolante pela metade.

As principais características adotadas para o isolante, temperatura ambiente, temperatura máxima, estão listadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições de contorno de temperatura

Isolante	Classe H (180 °C)
Temperatura ambiente (°C)	40
Temperatura máxima do cobre (°C)	120
Temperatura máxima do gerador (°C)	120

Fonte: Autoria própria (2014)

A velocidade do rotor foi incorporado na presente modelagem sendo considerada igual à velocidade do vento, tabela 1.

3.3SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

3.3.1ALETAS

As aletas desempenham um papel fundamental em motores e geradores, pois são responsáveis por otimizar a troca de calor com o ambiente, contribuindo significativamente para o processo de arrefecimento e prolongando a vida útil desses equipamentos. Além disso, ajudam a reduzir a fadiga térmica sobre o isolante, garantindo um funcionamento mais eficiente e confiável ao longo do tempo. E são divididas em dois grupos:

- Aleta plana de seção transversal uniforme;
- Aleta plana de seção transversal não-uniforme.

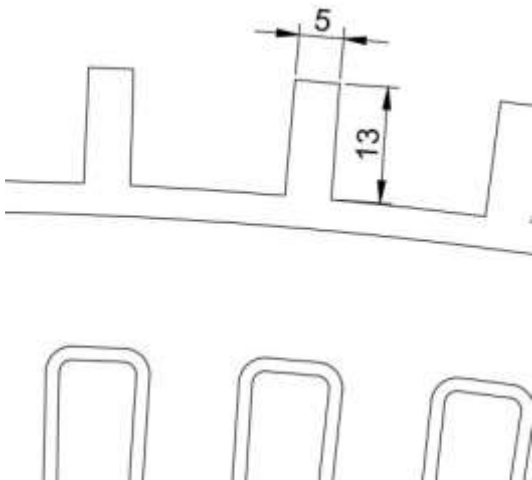
O modelo usado no trabalho de Bazzo (2017) é uma aleta retangular uniforme. Com as dimensões utilizadas no modelo G1 na tabela 6, para utilizar o critério de comparação e sua representação está na figura 8.

Tabela 6 - Condições de contorno de temperatura modelo G1

Largura - t (mm)	5
Comprimento – L (mm)	13
Número de aletas	144
Espessura - (mm)	131,99

Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 8 - Dimensão aleta retangular modelo G1



Fonte: Adaptado de Bazzo (2017)

A geometria das aletas utilizadas no presente estudo são de seção transversão circular, dispostas na matriz de forma alinhada e alternada --- conforme figura 5. Nesse estudo, esse tipo de aleta é chamado de matriz tubular de arranjo alinhado e arranjo alternado.

3.3.2MATRIZ TUBULAR

Para verificar o comportamento do arrefecimento comparado com o trabalho de Bazzo (2017), foram desenvolvidas geometrias com matrizes tubulares com comprimentos das aletas diferentes para a matriz tubular alinhada e alternada.

3.3.2.1 MATRIZ TUBULAR ALINHADA

Na tabela 7 estão listadas as dimensões utilizadas na matriz tubular alinhada. Será estabelecida uma matriz com 5 a 6 colunas, com espaçamento SL em 22 mm, e com um diâmetro D de 17 mm. A variável a ser modificada será o comprimento dos tubos na matriz.

Tabela 7 - Dimensões da geometria do trocador de calor de matriz tubular alinhada

Modelos	Comprimento (mm)	Diâmetro – D (mm)	SL/D
1	13	17	1.3
2	15	17	1.3
3	20	17	1.3

Fonte: Autoria própria (2024)

3.3.2.2 MATRIZ TUBULAR ALTERNADA

O modelo tubular alternada seguirá com as mesmas dimensões que as modelo alinhado, conforme tabela 8. E com o número de colunas também será entre 5 e 6.

Tabela 8 - Dimensões da geometria do trocador de calor de matriz tubular alternada

Modelos	Comprimento (mm)	Diâmetro – D (mm)	SL/D
4	13	17	1.3
5	15	17	1.3
6	20	17	1.3

Fonte: Autoria própria (2024)

3.4 METODOLOGIA NUMÉRICA

As equações físicas do problema, equação da conservação da massa, da quantidade de movimento e da conservação da energia, foram aplicadas neste modelo considerando o material do carter como isotrópico imerso em ar (fluido compressível), sendo este último modelado sob a hipótese do contínuo, White (2002), White (2005) e Batchelor (2000).

A solução numérica foi realizada no ANSYS®-Fluent, o qual utiliza o método de volumes finitos para representar o modelo discretizado das equações físicas do problema, Patankar (1980), Blazek (2001), Moukalled et al. (2015), Anderson et al. (2020).

4 RESULTADOS OBTIDOS

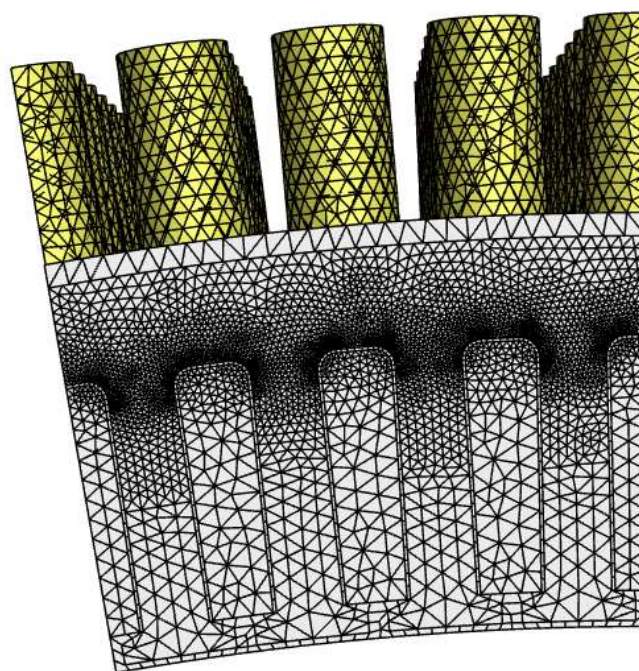
4.1 ESTUDO DE CONVERGÊNCIA DE MALHA

Foi feito um estudo de convergência para determinar se a malha utilizada na análise foi ideal ao caso estudado. Para cada geometria foram feitas 3 malhas para o estudo de convergência.

4.1.1 TROCADOR DE CALOR NO FORMATO MATRIZ TUBULAR MODELO ALINHADO

As figuras 10 e 11 são representações da malha para a matriz tubular com modelo alinhado.

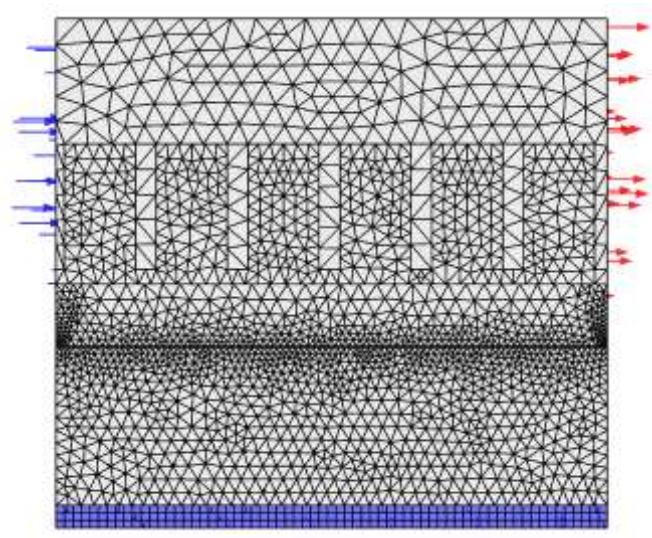
Figura 9 - Representação da malha da matriz tubular modelo alinhado, vista frontal.



Fonte: Autoria própria (2024)

Na figura 11 o fluxo de ar de entrada nos trocadores de calor no formato de matriz tubular é representado pelas flechas azuis. E o fluxo de saída de ar é representado pelas flechas vermelhas. A parte azul inferior da figura 11 é a entrada do fluxo de ar simulando o movimento do rotor.

Figura 10 - Representação da malha da matriz tubular modelo alinhado, vista lateral.



Fonte: Autoria própria (2024)

Nas tabelas 9, 10 e 11, são apresentadas as características de cada malha para a matriz tubular de modelo alinhado, para os comprimentos das aletas de 13, 15 e 20 mm.

Tabela 9 - Malha (1) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alinhado de diferentes comprimentos

Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	279228	1032514	0:38:19,0	869
15	233420	858397	0:32:19,26	568
20	274865	994293	0:38:11,91	868

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 10 - Malha (2) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alinhado de diferentes comprimentos

Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	265887	969607	0:34:18,60	868
15	254742	899781	0:32:19,86	868
20	254737	967882	0:33:12,71	868

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 11 - Malha (3) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alinhado de diferentes comprimentos

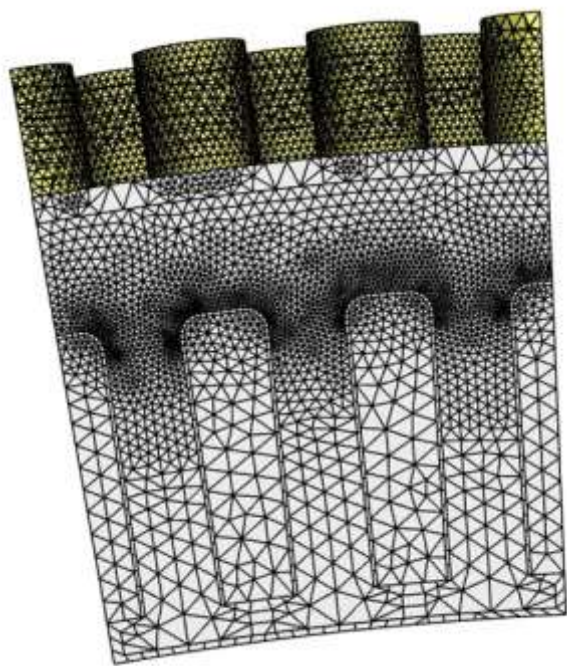
Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	267445	974202	0:33:07,94	868
15	281795	1039796	0:38:52:56	868
20	255650	973049	0:32:04,69	868

Fonte: Autoria própria (2024)

4.1.2 TROCADOR DE CALOR NO FORMATO DE MATRIZ TUBULAR MODELO ALTERNADO

A figura 12 é a representação esquemática da malha 10 com variação no comprimento da matriz tubular.

Figura 11 - Representação da malha da matriz tubular modelo alternado, vista frontal.



Fonte: Autoria própria (2024)

Nas tabelas 12, 13 e 14, são apresentadas as características de cada malha para os comprimentos das aletas de 13, 15 e 20 mm, para a matriz tubular de modelo alternado.

Tabela 12 - Malha (4) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alternado de diferentes comprimentos

Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	185920	704141	0:04:47,27	126
15	238082	950699	1:15:38,45	1040
20	244776	979577	1:23:52,75	1040

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 13 - Malha (5) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alternado de diferentes comprimentos

Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	205141	778653	0:32:38,36	1047
15	247137	1007430	1:06:19,26	1040
20	250591	1012946	1:31:23,09	1040

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 14 - Malha (6) para a trocador de calor no formato de matriz tubular no modelo alternado de diferentes comprimentos

Comprimento (mm)	Nós	Elementos	Tempo	Nº de iterações
13	205141	778653	0:32:38,36	1047
15	247137	1007430	1:06:19,26	1040
20	250591	1012946	1:31:23,09	1040

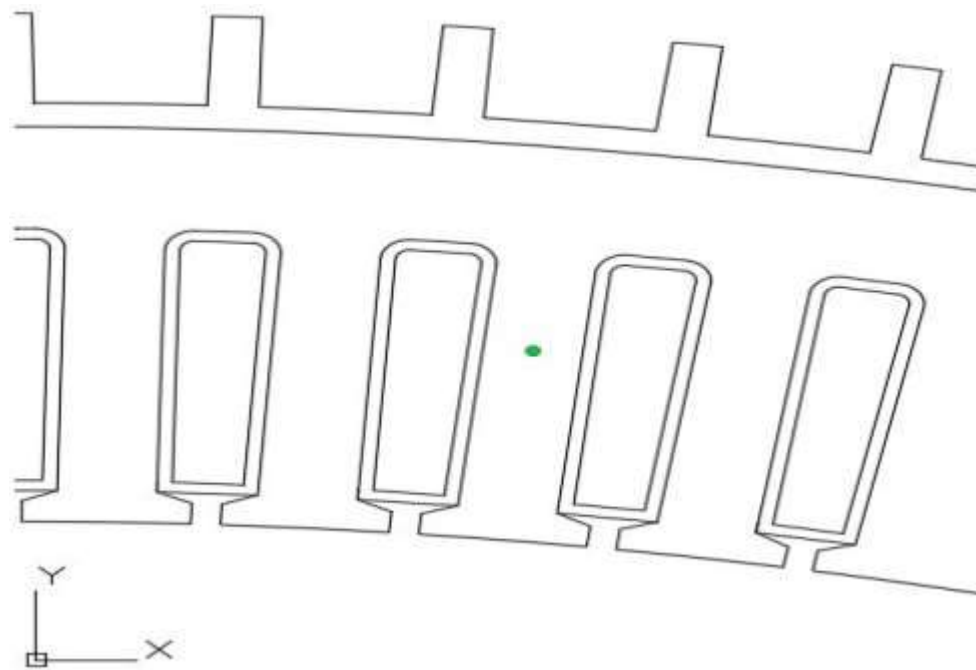
Fonte: Autoria própria (2024)

Nos resultados apresentados na seção 4.3 para a convergência de malha, denomina-se Malha 1,2 e 3, as malhas para os comprimentos das aletas de 13, 15 e 20 mm, respectivamente, da matriz tubular do modelo alinhado. Malha 4, 5 e 6, as malhas para os comprimentos das aletas de 13, 15 e 20 mm, respectivamente, da matriz tubular do modelo alternado.

4.2 EFEITO DO ROTOR SOBRE O ESTATOR

Os valores de temperatura para as simulações da convergência de malha, foram medidos em relação às faces laterais do estator. O ponto na cor verde no estator, figura 12, indica a posição perpendicular ao plano xy, da referência geométrica para armazenar os valores de temperatura obtidos nas simulações numéricas. A temperatura foi medida de uma face a outra do estator, ao longo do ponto na cor verde, figura 12, coordenadas em relação ao eixo z, (0.0,131.99) mm.

Figura 12 - Gráfico de temperatura com matriz tubular alinhada de 13 mm.



Fonte: Autoria própria (2024)

A região no estator entre os isolantes do cobre é a que apresenta a maior temperatura nesta aplicação, Bazzo (2017). Por isso, a escolha da referência geométrica entre as faces do estator para medir os valores de temperatura das simulações numéricas realizadas no presente trabalho.

O modelo implementado no presente trabalho, foi desenvolvido considerando as mesmas condições operacionais do trabalho de Bazzo (2017).

4.3 COMPARAÇÃO DE TEMPERATURA COM DIFERENTES MALHAS

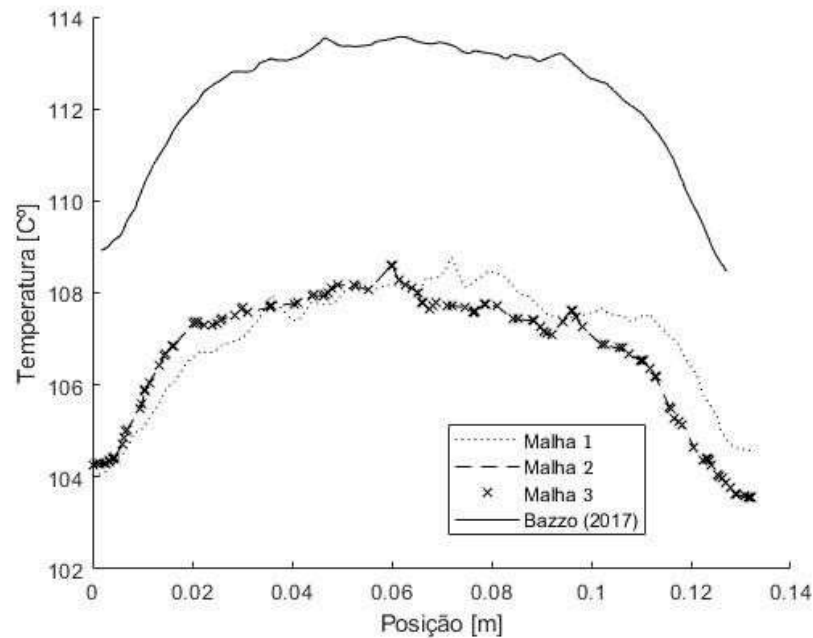
Nesta seção são apresentados os resultados para a convergência de malha do modelo geométrico do carter. Proposto para o estudo da otimização do arrefecimento térmico do gerador eólico de ímãs permanente, i.e., matrizes tubulares alinhada e alternada. Nos resultados de Bazzo (2017), os valores de temperatura mínima e máxima, na mesma região geométrica, foram respectivamente 108,78°C e 113,48°C.

Nas figuras 13 e 14, são apresentados os valores de temperatura, em °C, para as aletas de 13 e 20 mm.

A Malha 3 desenvolvida para simular a matriz tubular alinhada de 20 mm, figura 14, não apresentou estabilidade numérica durante a simulação. Nesta configuração, algumas regiões da geometria apresentaram elementos na malha com alto grau de esbeltez, contribuindo para a presença de resultados espúrios quando comparado com aqueles obtidos com as Malhas 1 e 2. Foi realizada uma

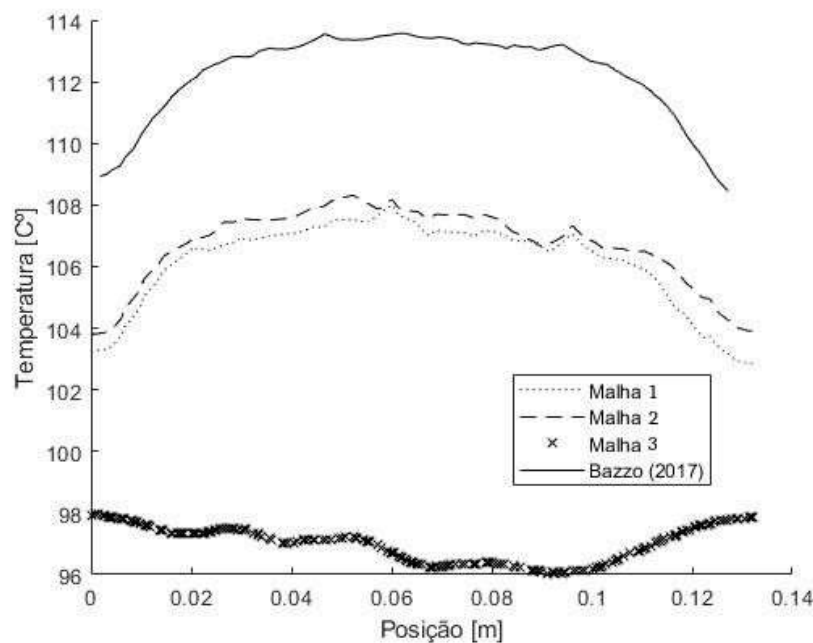
análise cuidadosa da malha após inúmeras tentativas de simulação apresentarem a mesma característica, sendo então descartados da presente análise.

Figura 13 - Valores de temperatura com matriz tubular alinhada de 13 mm.



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 14 - Valores de temperatura com matriz tubular alinhada de 20 mm.



Fonte: Autoria própria (2024).

As malhas na aleta de 13 mm, figura 13, apresentaram alguns picos de temperatura ao longo do estator, pequenas instabilidades numéricas. O que não se vê nos resultados para das malhas da aleta de 20 mm, figura 14. Algumas malhas da aleta de 13 mm, também apresentaram emaranhados de elementos de certo grau de esbeltez fora da faixa de confiabilidade numérica para uma boa acurácia dos resultados, Blazek (2001), Lohner (2008), Lo (2014).

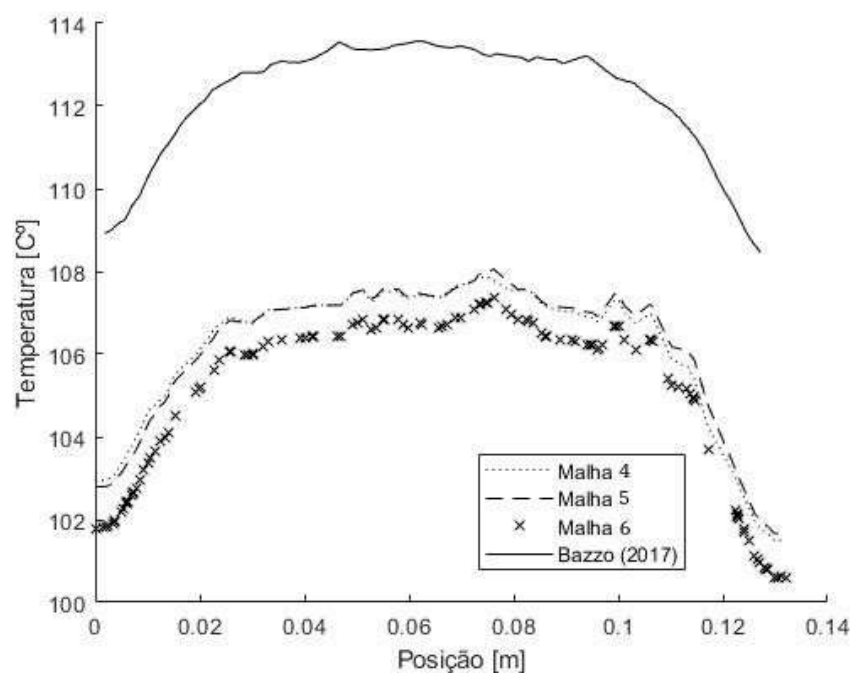
As simulações para as malhas da aleta de 15 mm desenvolvida para a matriz tubular alinhada, divergiram completamente.

Quando comparado com o modelo utilizado por Bazzo (2017), a alteração da geometria do carter com aletas de matriz tubular alinhada, resultou numa diminuição expressiva de temperatura entre os isolantes do cobre.

A alteração da geometria do carter com aletas de matriz tubular alinhada, otimizou o arrefecimento térmico na condição operacional. Sendo assim, uma alternativa que poderia ser utilizada para melhorar a condição operacional do gerador eólico de imã permanente estudado neste trabalho.

Nas figuras 15, 16 e 17, são apresentados os resultados da temperatura, em °C, ao longo do estator utilizando uma matriz tubular alternada para as malhas das aletas de 13 mm, 15 mm e 20 mm.

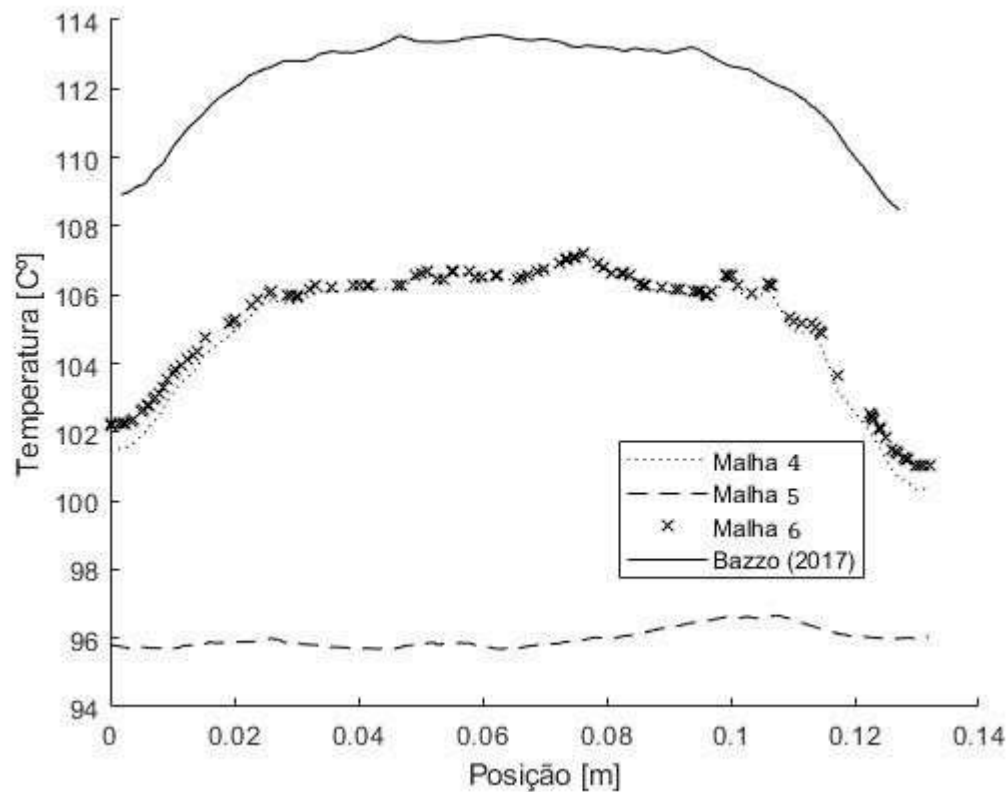
Figura 15 - Valores de temperatura com matriz tubular alternada de 13 mm



Fonte: Autoria própria (2024)

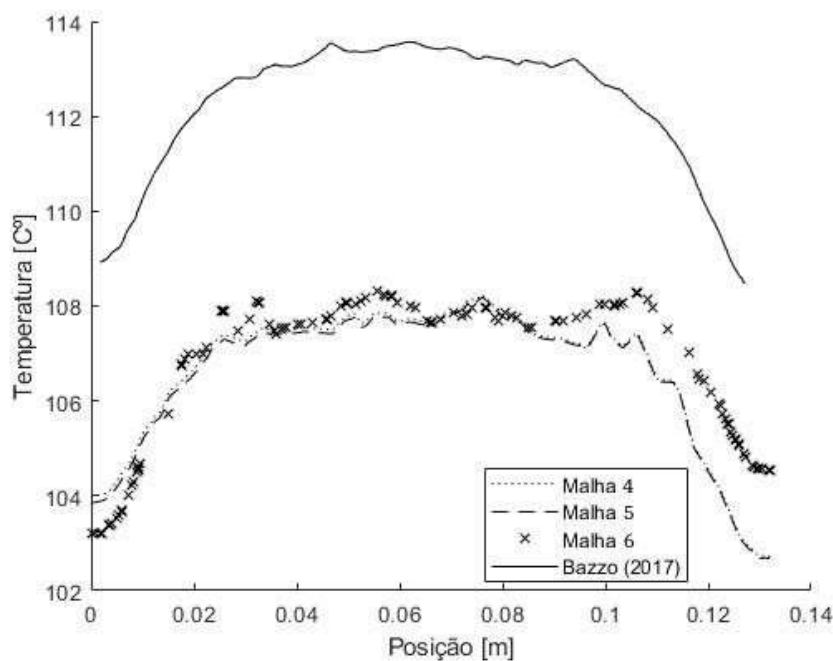
Os resultados da Malha 5, figura 16, desenvolvida para simular a matriz tubular alternada da aleta de 15 mm, foram descartadas da presente análise por motivo similar ao relatado com o resultado apresentado na figura 14.

Figura 16 - Valores de temperatura com matriz tubular alternada de 15 mm



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 17 - Valores de temperatura com matriz tubular alternada de 20 mm.



Fonte: Autoria

Na tabela 15 é apresentada uma comparação da redução da temperatura máxima obtida no presente trabalho em relação àquela obtida por Bazzo (2017).

Tabela 15 - Porcentagem de redução de temperatura máxima.

Geometria (mm)	Temperatura máxima (°C)	Redução em (%)
Matriz tubular alinhada 13	108,77	4,15
Matriz tubular alinhada 20	107,69	5,10
Matriz tubular alternada 13	107,35	5,40
Matriz tubular alternada 15	107,18	5,55
Matriz tubular alternada 20	108,32	4,54

Fonte: Autoria própria (2024)

A redução de temperatura na matriz tubular alternada foi maior que aquela observada na matriz tubular alinhada. Cujas maiores reduções de temperatura foram observadas na matriz tubular alternada de aletas com 15 mm. Nesse tipo de matriz o padrão do despreendimento de vórtices pelo escoamento ao redor das aletas pode estar favorecendo a turbulência e a transferência de calor por convecção.

As malhas nas aletas da matriz tubular alternada de 13 e 20 mm, figuras 15 e 17, apresentaram picos de temperatura ao longo do estator similares aos observados nas malhas da aleta de 13 mm, figura 13. Novamente, pela presença de emaranhados de elementos na malha de certo grau de esbeltez fora da faixa de confiabilidade numérica, diminuindo a acurácia dos resultados quando comparados com o resultado de Bazzo (2017). Com o prejuízo na acurácia, a solução numérica tende a oscilar ao longo do tempo de simulação, caracterizado pelas ondulações e/ou picos de valores de temperatura ao longo do estator, figuras 15 e 17.

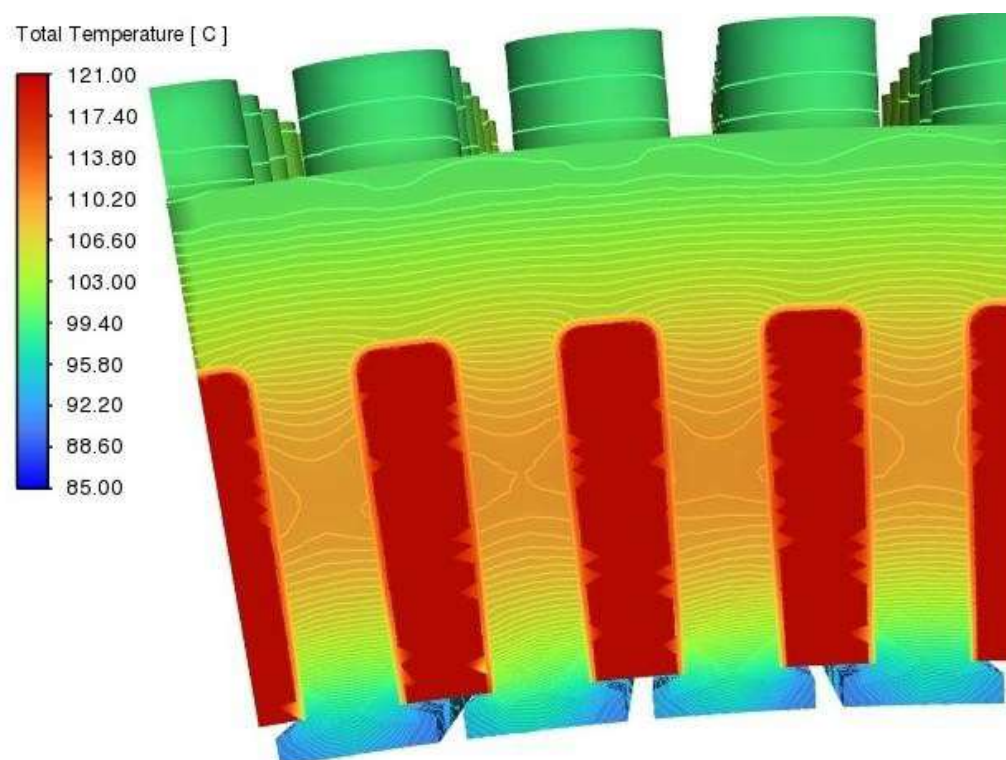
Os melhores resultados obtidos pelas simulações numéricas executadas no presente trabalho, foram para as malhas da matriz tubular alternada com aletas de 15 mm, figura 16. Para essas malhas, observa-se uma otimização expressiva na transferência de calor por convecção, resultando na maior diferença percentual da temperatura máxima no estator, comparada com a máxima temperatura obtida por Bazzo (2017).

O valor médio para a máxima temperatura no estator para as Malhas 4 e 6, da aleta de 15 mm da matriz tubular alternada, figura 16, foi de 107,18°C, tabela 15, enquanto que no trabalho de Bazzo (2017), essa temperatura foi de 113,47°C. Configurando a melhor opção de otimização do arrefecimento térmico para o gerador eólico de imã permanente simulado no presente trabalho.

O padrão do escoamento ao redor das aletas na matriz tubular alternada, pode ter contribuído para maior eficiência do processo de arrefecimento térmico. Entretanto, esse fenômeno é favorável para alturas da aleta não superiores a 15 mm. O que pode ser observado nos resultados para as malhas da matriz tubular alternada de aletas de 20 mm, com valor máximo de temperatura no estator de 108,32°C, segunda menor diferença percentual quando comparada com o valor obtido por Bazzo(2017). O efeito é similar na matriz alinhada de aleta de 20 mm.

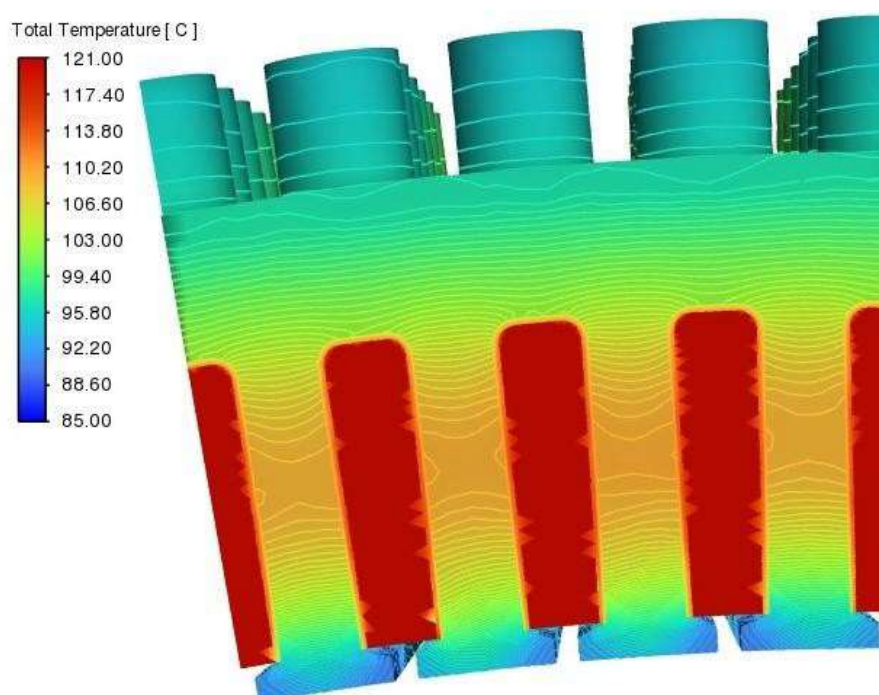
Nas figuras 18, 19, 20 e 21, são apresentados os de isovalores de temperatura, obtidos das simulações numéricas realizadas nas matrizes tubulares alinhada e alternada, para as aletas de 15 e 20 mm, respectivamente.

Figura 18 – Isovalores de temperatura matriz tubular alinhada de 15 mm.



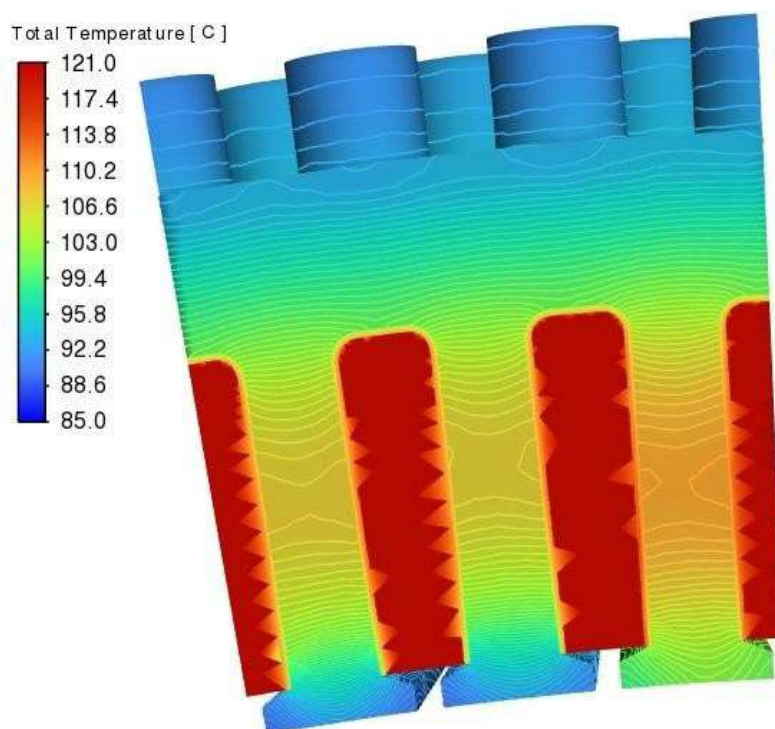
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 19 – Isovalores de temperatura matriz tubular alinhada de 20 mm.



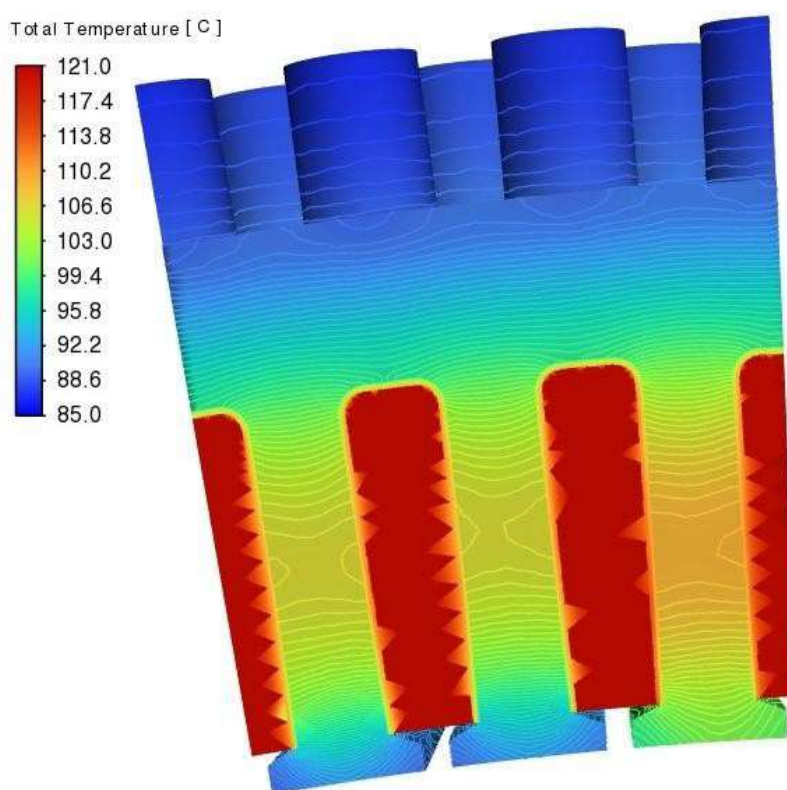
Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 20 – Isovalores de temperatura matriz tubular alternada de 15 mm.



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 21 – Isovalores de temperatura matriz tubular alternada de 20 mm.



Fonte: Autoria própria (2024)

Os isovalores de temperatura foram extraídos considerando a vista frontal da geometria do gerador.

No resultado de isovalor de temperatura para a matriz tubular alternada com aleta de 20 mm, figura 21, observa-se que a parte superior das aletas no carter que a temperatura é mais baixa que nas demais matrizes aqui simuladas, pela cor azul mais intensa de nível em 85°C --- comparado com os resultados das figuras 18, 19 e 20.

Em todos os resultados de isovalores de temperatura, observa-se elementos tetraédricos da malha em destaque na região do cobre, que está na máxima temperatura nas condições operacionais de trabalho do gerador. Esses elementos tetraédricos da malha em destaque nos isovalores, indicam que a qualidade da malha nessas regiões não é boa. O que pode provocar uma instabilidade na solução numérica, culminando em resultados com pouca acurácia, que podem se propagar do estator até a extremidade das aletas no carter.

5 CONCLUSÃO

A proposta de alteração geométrica das aletas no carter para matrizes tubulares alinhada e alternada, assim como considerar os efeitos do movimento do rotor, possibilitou a realização de uma análise física do arrefecimento térmico do gerador eólico de imã permanente. A inclusão do efeito do movimento do rotor na modelagem, trouxe mais realismo ao problema físico quando comparado com o modelo simplificado do arrefecimento térmico apresentado por Bazzo (2017).

Todos os padrões de aletas simulados neste trabalho resultaram em valores de temperatura máxima no interior do estator, menor que aquele obtido por Bazzo (2017). Corroborando que com a alteração do padrão geométrico das aletas em conjunto com o efeito do movimento do rotor, oferecem condições físicas que possibilitam explorar o arrefecimento térmico do gerador no viés de sua otimização.

Uma recorrência não desejável presente nas simulações realizadas neste trabalho, estão relacionadas à presença de instabilidades e divergência numérica. As malhas com elementos tetraédricos na região do isolante e do cobre, apresentaram pequenos emaranhados com elementos de grau de esbeltez fora do padrão para se ter boa precisão numérica. Mesmo que presente em pequenas regiões da geometria, foram suficientes para provocar a perda de acurácia ou divergência na solução numérica.

O isolante tem uma pequena espessura quando comparada com as demais dimensões das partes adjacentes a essa geometria. Para desenvolver malhas de boa precisão nessa região, é necessário

utilizar outras técnicas de desenvolvimento de malha. Trabalhar com malhas estruturadas de hexaédros ou malhas mistas compostas de hexaédros e tetraédricos.

Um estudo minucioso do tipo e da qualidade da malha a ser empregada em simulações numéricas como esse, está fora do escopo do presente trabalho. Todavia, pode ser considerada em pesquisas futuras para tentar melhorar a compreensão de algumas características apresentadas neste trabalho. Tal como, na matriz tubular alternada de aletas de 20 mm, cujos valores de temperatura na parte mais externa do carter estarem no nível de cor correlacionado à temperatura de 85°C, e não apresentar valor satisfatório para a temperatura máxima ao longo do estator --- comparada com a matriz tubular alternada de aletas de 15 mm.

REFERÊNCIAS

- ANSYS. Software ANSYS. Disponível <https://ajuda.utfpr.edu.br/pt-br/servicos_deinfra/ansys>: [s.n.], v. 2024-R1.
- ANDERSON, D., TANNEHILL, J. C., PLETCHER, R. H., MUNIPALLI, R., SHANKAR, V. Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer. 4th Edition. CRC Press, 2020.
- BATCHELOR, G. K. An Introduction to Fluid Dynamics. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2000.
- BAZZO, T. Projeto ótimo multidisciplinar de geradores síncronos de ímãs permanentes para aerogeradores considerando a curva de ocorrência do vento. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- BERGMAN, T.; LAVINE, A. INCROPERA Fundamentos da transferência de calor e de massa. 8o Edição ed. Grupo GEN, 2019.
- BLAZEK, J. Computational fluid dynamics: Principles and applications. 2a Edição ed. 2001.
- BLOMQUIST, M. Performance Optimization of Numerical Simulations of Heat Transfer and Fluid Flow. Northridge: CALIFORNIA STATE UNIVERSITY, NORTHRIDGE 2018.
- HOLMAN, J. P. Heat Transfer. 10a Edição ed. 2010.
- KRAUS, A. D., AZIZ, A., WELTY, J. Extended Surface Heat Transfer. 1st Edition. Wiley-Interscience, 2001.
- LO, D. S. H. Finite Element Mesh Generation, 1st Edition. CRC Press, 2014.
- LOHNER, R. Applied Computational Fluid Dynamics Techniques: An Introduction Based on Finite Element Methods. 2nd Edition. Wiley, 2008.
- MOUKALLED, F.; MANGANI, L.; DARWISH, M. The finite volume method in computational fluid dynamics. 2015
- PATANKAR, S. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. 1980.
- TARAS, P.; NILIFARD, R.; ZHU, Z.-Q.; AZAR, Z. Cooling Techniques in Direct-Drive Generators for Wind Power Application. Energies, v. 15, n. 16, p. 5986, 2022.
- ÖZISIK, M. Necati. Heat transfer: a basic approach. New York: McGraw-Hill, 1985
- WINDBOX. Componentes dos aerogeradores. Blog Windbox. Disponível em: <https://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- WHITE, F. Fluid Mechanics. 5a Edição ed. 2002.
- WHITE, F. M. Viscous Fluid Flow. 3rd Edition. McGraw Hill, 2005.

Capítulo 4



10.37423/250309832

EUPHORBIA TIRUCALLI NO CAMPUS ILHA DO FUNDÃO/UFRJ: IMPACTO DA ANÁLISE DE SOLO NA COMPOSIÇÃO FITOQUÍMICA E MICROBIOTA

Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Nicole Delaunay de Souza

Universidade Federal do Pará

Simone da Silva

*Centro de Bionegócios da Amazônia ,
Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da
Amazônia
Universidade Federal do Rio de Janeiro*

Alexandre dos Santos Pyrrho

Morgana Teixeira Lima Castelo Branco

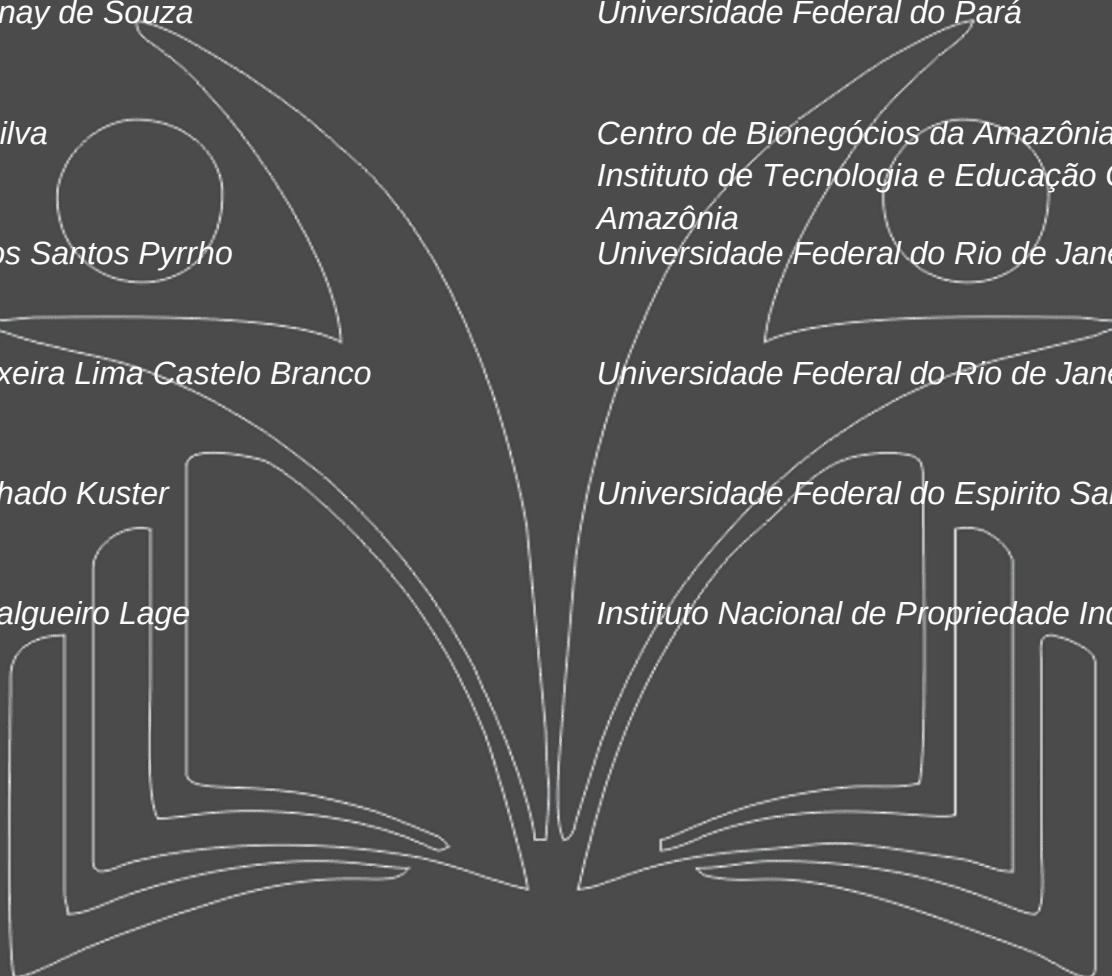
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Ricardo Machado Kuster

Universidade Federal do Espírito Santo

Celso Luiz Salgueiro Lage

Instituto Nacional de Propriedade Industrial



Resumo: Este capítulo apresenta uma análise aprofundada de *Euphorbia tirucalli*, uma planta da família Euphorbiaceae, com foco na avaliação microbiológica e fitoquímica realizadas a partir de amostras coletadas no Jardim do Campus Ilha do Fundão/UFRJ. O estudo incluiu a análise microbiológica do solo e das plantas, identificando a presença de fungos endofíticos e bactérias, como *Rhizoctonia solani*, *Verticillium sp.* e *Fusarium oxysporum*, que podem estar associados à atenuação de toxicidade observada nos ensaios de toxicologia clássica, de acordo com os padrões da ANVISA. A pesquisa também investigou o impacto desses microrganismos sobre a produção de compostos fitoquímicos, como ácido palmítico e ingenol, substância com propriedades antitumorais e antivirais. Além disso, foram abordadas as condições do solo, com ênfase na sua acidez e composição mineral, que influenciam tanto a saúde da planta quanto a interação com a microbiota local. O capítulo também discute a potencial aplicação biotecnológica de *E. tirucalli*, associada à exploração de seus compostos bioativos e à bioremediação de solos, oferecendo novas perspectivas para o uso sustentável e inovador dessa planta.

Palavras-chave: *Euphorbia tirucalli*, bactéria, fungos endofíticos, análise mineral de solo, potencial em bioremediação.

INTRODUÇÃO

Muitas misturas de plantas da família Euphorbiaceae, incluindo látex fresco e chás, são amplamente utilizadas na medicina alternativa. *Euphorbia tirucalli* L., conhecida popularmente como aveloz, destaca-se entre essas espécies devido às suas propriedades farmacológicas e sua distribuição cosmopolita. Estudos apontam que essa planta possui propriedades terapêuticas contra diversas enfermidades, incluindo verrugas, câncer, gonorreia, artrite, asma, tosse, neuralgia, reumatismo, dor de dente e tumores (Cataluna & Rates, 1999; Duke, 1983; Van Damme, 1989 In Mwine & Van Damme, 2011).

E. tirucalli é uma espécie de origem africana, amplamente utilizada no continente asiático e em países árabes. No Brasil, sua chegada está historicamente associada ao tráfico transatlântico de pessoas escravizadas, sendo utilizada como um tônico durante as viagens (Varricchio, 2008). Além disso, seu uso é registrado entre comunidades tradicionais de diversas origens étnicas, incluindo ciganos, paquistaneses, povos indígenas do nordeste brasileiro e praticantes de etnomedicina de matriz africana (Varricchio et al., 2008).

A complexidade química do aveloz é um fator determinante para seu interesse científico. Estudos identificaram triterpenos, diterpenos e flavonoides como seus principais constituintes. O látex e os extratos da planta demonstram propriedades anti-neoplásicas e imunomoduladoras, embora também possam apresentar efeitos cáusticos e irritantes, além de atuarem como co-promotores tumorais (Santa Clara Jr., 2017; Varricchio et al., 2020; Ximenes Lins et al., 2024; Varricchio et al., 2025). Apesar disso, seu uso popular no Brasil, especialmente no Rio de Janeiro, não tem sido associado a intoxicações graves, sugerindo possíveis mecanismos adaptogênicos e imunomoduladores (Varricchio et al., 2020).

Análises por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada ao espectro de absorbância ultravioleta (CLAE/UV) detectaram substâncias diterpenoídicas potencialmente tóxicas no látex de exemplares coletados no jardim do Instituto de Pesquisas em Produtos Naturais (IPPN/UFRJ). No entanto, os extratos utilizados em testes de toxicologia aguda e crônica não apresentaram efeitos tóxicos nas concentrações testadas (Varricchio, 2008; Gomes et al., 2024). Também não foi observada citotoxicidade em testes *in vitro* com linhagens de adenocarcinoma de mama humano (MCF7) e melanócitos normais (Melan A), mesmo em condições de alta salinidade similares às encontradas na África (Varricchio et al., 2019; 2020).

Ensaio realizados com método ELISA revelaram que a fração hidrofílica liofilizada do extrato de aveloz e seu látex foram capazes de modular a imunidade inata, estimulando a produção de citocinas como IL-10, TNF e IL-12 em macrófagos (Santa Clara Jr., 2017a; Gomes et al., 2024; Nagamatsu et al., 2024). Além disso, foi constatado que o látex não se degrada em meio ácido clorídrico, indicando que suas propriedades biológicas podem ser mediadas por processos enzimáticos, possivelmente envolvendo esterases (Varricchio et al., 2020).

Outro fator intrigante é a variabilidade sazonal dos compostos químicos da planta. Estudos ecofisiológicos realizados no IPPN/UFRJ indicam que a composição química do látex varia entre os períodos de verão e inverno, possivelmente influenciada pelas condições edafoclimáticas locais. A detecção de diterpenóides polihidrofílicos em raízes e no solo reforça a hipótese de que o metabolismo secundário da planta seja altamente responsivo ao ambiente (Varricchio et al., 2020a).

Diante dessas observações, torna-se essencial aprofundar as investigações sobre os mecanismos biológicos do aveloz e suas interações com o ecossistema. Este estudo propõe a análise do solo onde a espécie é cultivada no IPPN/UFRJ, visando compreender melhor sua relação com fatores ambientais e sua influência na produção de metabólitos bioativos. Os resultados contribuirão para a compreensão dos potenciais usos terapêuticos e toxicológicos dessa espécie, bem como para o desenvolvimento de estratégias seguras para seu emprego na medicina tradicional e biotecnologia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL:

Investigar as características físico-químicas e biológicas do solo do jardim do IPPN/UFRJ, campus Ilha do Fundão, onde *Euphorbia tirucalli* se propaga *in situ*, a fim de subsidiar o desenvolvimento de metodologias mais eficientes para sua micropropagação biotecnológica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar a composição química e a granulometria do solo do jardim do IPPN/UFRJ, correlacionando seus componentes com o desenvolvimento da planta;
- Analisar a microbiota associada à *Euphorbia tirucalli* em seu ambiente natural e em condições de cultivo *in vitro*, avaliando possíveis interações benéficas ou prejudiciais ao crescimento da espécie;
- Investigar a influência das condições edafoclimáticas sobre a produção de metabólitos secundários na planta, buscando compreender seu potencial biotecnológico;

- Comparar os dados obtidos *in situ* com os de culturas micropropagadas, identificando possíveis adaptações e desafios para otimização do cultivo em laboratório.

DESENHO DE PESQUISA

O estudo seguirá um delineamento experimental baseado na coleta, preparo e análise de *Euphorbia tirucalli* (aveloz) e do solo onde a espécie se desenvolve *in situ*. Serão conduzidos três ensaios principais para caracterização físico-química e microbiológica, abrangendo a análise granulométrica do solo, a identificação de microrganismos associados e a avaliação das culturas *in vitro*.

MATERIAL E MÉTODO

CERTIFICAÇÃO BOTÂNICA

Os exemplares do material controle foram depositados no herbário do Museu Nacional do Rio de Janeiro/UFRJ, registrados sob o número R - 204.406 pela Professora Luci de Senna Valle. *Euphorbia tirucalli* pertence à família Euphorbiaceae, gênero *Euphorbia*.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E MICROBIOLÓGICA DO SOLO DO IPPN:

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As coletas de solo seguiram, rigorosamente, o protocolo estabelecido pela EMBRAPA SOLOS (2000). Foram coletadas amostras de 300 g de solo do jardim do IPPN/UFRJ em duas profundidades: 20 cm e 40 cm. As amostras foram armazenadas em sacos devidamente etiquetados e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, onde foram submetidas a análises químicas e granulométricas para determinar sua composição e influência no desenvolvimento de *E. tirucalli*.

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DE AMOSTRA DE VEGETAL DE JARDIM DO IPPN

IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES MICROBIOLÓGICAS CONTAMINANTES EM CULTURAS IN VITRO E CAULES COLETADOS NO JARDIM DO IPPN:

Amostras de *E. tirucalli* provenientes de plantas saudáveis cultivadas *in situ* (assintomáticas) e caules contaminados de culturas *in vitro* foram analisadas para a identificação de microrganismos associados. As amostras foram processadas no Laboratório de Análises Microbiológicas do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. O isolamento e

a caracterização dos microrganismos foram conduzidos a partir de meios de cultura específicos, permitindo a identificação de possíveis agentes contaminantes e simbioses associados ao crescimento da espécie.

DESENVOLVIMENTO

- CERTIFICAÇÃO BOTÂNICA E DESCRIÇÃO DO CAULE

O caule de *Euphorbia tirucalli* apresenta uma epiderme unisseriada, composta por células com paredes anticlinais retas a levemente sinuosas, recobertas por um espesso estrato cuticular, que se projeta entre as paredes anticlinais das células epidérmicas.

Os estômatos estão localizados em reentrâncias abaixo do nível das células epidérmicas, enquanto as câmaras subestomáticas são bem desenvolvidas e formadas por células levemente brachiformes. A região cortical é composta por um parênquima clorofílico, constituído por numerosas camadas de células arredondadas.

Na estrutura do córtex, observam-se fibroesclereides dispersas e fibras pericíclicas dispostas de forma isolada ou em pequenos aglomerados de 2 a 10 células. Ductos laticíferos de paredes espessas são encontrados próximos ao cilindro vascular (*Figura 4*).

O cilindro vascular encontra-se em estágio inicial de desenvolvimento. O floema secundário é composto por tubos crivados, que possuem placas crivadas únicas e podem ser solitários ou dispostos em grupos de até dez células. Cada tubo crivado contém uma a duas células companheiras.

O xilema secundário é predominantemente formado por elementos vasculares solitários, embora possa apresentar grupos de duas a cinco células. O parênquima axial é escasso e classificado como paratraqueal.

A região medular é composta por células parenquimatosas semelhantes às células corticais, diferenciando-se apenas pela ausência de cloroplastos. Não há evidência de anatomia de Kranz, o que sugere uma fisiologia fotossintética distinta de plantas que apresentam o ciclo C4 clássico.

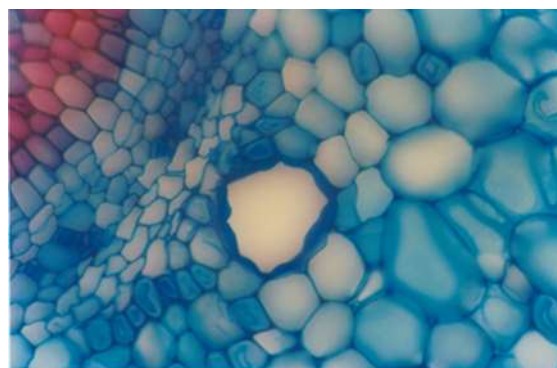


Figura 4: Corte transversal Ductos Laticíferos ME 40 x 40 Coloração Safranblau.

INVESTIGAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA *E. TIRUCALLI* DO JARDIM DO IPPN:

– ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO DO IPPN:

A coleta do solo foi realizada fora do período de chuvas, garantindo maior precisão na análise. O solo do jardim do IPPN apresenta coloração marrom e textura ressecada, formando torrões nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm, os quais precisaram ser homogeneizados antes da análise. A área não recebeu adubação, esterco ou calagem, mantendo-se em condições naturais.

Vegetação diversa, incluindo árvores e outras espécies vegetais, cresce ao redor da *E. tirucalli*. O terreno não apresenta declive, formigueiros, drenos ou canais, embora fique sujeito a encharcamento durante períodos de chuvas intensas devido à sua localização na região do Graben da Guanabara, na margem continental leste da Baía da Guanabara.

A análise granulométrica, realizada pelo método da Pipeta, classificou o solo como franco-arenoso, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1: Análise Granulométrica - Método da Pipeta.

Solo IPPN	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Argila Total	Argila Natural	Silte	Classe textural
-----	%	%	%	%	%	%	-----
0-20 cm	61	46	15	15	11	24	franco-arenosa
20-40 cm	65	50	16	14	10	21	franco-arenosa

Fonte: Rotina de Fertilidade do Solo pelo Labfer – Laboratório de análise do solo, da planta e resíduos/UFRRJ.

ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO DO IPPN

A análise química do solo, realizada conforme a Rotina de Análise para Solos do Estado do Rio de Janeiro (MAERJ, 1988) com extrator duplo-ácido, indicou que, em ambas as profundidades, o solo do jardim do IPPN apresenta baixo nível de fósforo.

Quanto aos demais elementos:

- O potássio foi classificado como alto até 20 cm de profundidade e médio entre 20–40 cm;
- Os níveis de alumínio, molibdênio e nitrogênio foram baixos em ambas as camadas analisadas;
- O pH foi neutro até 20 cm e moderadamente alcalino na faixa de 20–40 cm;
- O carbono orgânico apresentou níveis baixos nas duas profundidades.

RELAÇÃO SOLO-VEGETAL E INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO QUÍMICA DE *E. TIRUCALLI*

A composição química do solo, caracterizada por baixa disponibilidade de carbono orgânico e nitrogênio e pH moderadamente alcalino nas camadas mais profundas, interfere diretamente na produção de metabólitos secundários em *E. tirucalli*.

Estudos prévios indicam que esses fatores podem influenciar o perfil químico da planta. Análises realizadas por CLAE/UV revelam baixa esterificação e ciclização nos compostos da espécie, mesmo sob condições de elevada salinidade, conforme descrito por Fürstenberger & Hecker (1986).

Por outro lado, a planta demonstrou maior produção de diterpenóides polihidroxilados, compostos fenólicos e flavonoides, como reportado por Varricchio (2008) e Caxito et al. (2017). Esses metabólitos apresentam potencial antifúngico e bioativo, reforçando a necessidade de um estudo aprofundado sobre a influência do solo na síntese dessas substâncias.

ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO DO IPPN

O Quadro 2, abaixo, apresenta os resultados da rotina de fertilidade do solo, expressos em Cmolc/dm^3 para os elementos químicos, enquanto fósforo (P) e potássio (K) estão expressos em mg/L.

Quadro 2: Elementos químicos do solo do IPPN.

Solo IPPN	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	N	pH água 1:2,5	C org %	P	K
0-20 cm	0,065	9,3	2,5	0,24	0	0	12,10	12,10	100	0	1	7,0	1,0	7	93
20-40 cm	0,073	14,8	4,1	0,15	0	0	19,12	19,12	100	0	0	8,0	0,61	7	58

Fonte: Rotina de Fertilidade do Solo (Labfer/UFRJ).

Conforme documentado por MAERJ (1988), quando a concentração de um nutriente ultrapassa o nível crítico, a resposta da cultura à adubação tende a ser reduzida. Esse fenômeno é observado no solo do jardim do IPPN, onde os teores elevados de cálcio e magnésio podem influenciar a absorção de outros nutrientes e alterar a bioquímica da *Euphorbia tirucalli*.

Avaliações qualitativas prévias sobre o desenvolvimento da *E. tirucalli* sob condições controladas para fins medicinais indicaram que a sobrevivência dos explantes foi mais favorável em solos com menor teor de nitrogênio (semelhante às camadas mais profundas do solo analisado). Em contraste, um teor elevado de nitrogênio esteve correlacionado a um aumento na taxa de mortalidade dos explantes, corroborando estudos anteriores (Fürstenberger & Hecker, 1986 In Varricchio et al., 2006).

A influência do nitrogênio e do pH no metabolismo secundário da *E. tirucalli* é notável, impactando não apenas a sobrevivência da planta, mas também a composição dos compostos químicos produzidos. A relação entre o pH e a esterificação de metabólitos é um fator determinante na expressão do potencial bioativo da espécie.

Outro ponto relevante é a distribuição dos nutrientes: enquanto o cálcio, magnésio e enxofre apresentam concentrações mais elevadas nas camadas mais profundas, o potássio diminui com a profundidade. O fósforo e o sódio são baixos em ambas as camadas, sugerindo menor salinidade para este solo franco-arenoso situado à beira da Baía de Guanabara.

A possibilidade de toxidez devido à variação do fluxo das águas subterrâneas, afetadas pelo regime das marés, é um fator a ser considerado. Esse fenômeno pode influenciar a absorção de nutrientes pelas raízes e modificar a produção de metabólitos secundários. A análise CLAE/UV indicou que a micropropagação sob condição de hipersalinidade impactou a produção do caule, mas novos ensaios serão conduzidos para avaliar a influência das oscilações sazonais e das marés na exsudação de diterpenóides pelas raízes.

Esses resultados reforçam a importância da investigação dos fatores edafoclimáticos e sua relação com o metabolismo vegetal da *E. tirucalli*, abrindo caminhos para novos estudos sobre sua adaptação ecológica e potencial bioquímico.

DISCUSSÃO

O gênero *Euphorbia* e, por consequência, a família *Euphorbiaceae*, foram nomeados em homenagem ao médico grego Euphorbus, que, segundo registros históricos, utilizava o látex de *Euphorbia resinifera* para tratar enfermidades, incluindo edemas abdominais do rei Juba II da Mauritânia (Lovell, 1998; Van Damme, 2001 apud Mwine & Van Damme, 2011). *Euphorbia tirucalli*, especificamente, tem sua origem atribuída ao leste da África e Madagascar, sendo trazida ao Brasil durante o período colonial, possivelmente por meio dos navios negreiros. Sua notável capacidade de propagação por estacas e fragmentos a tornou uma espécie amplamente distribuída em diferentes regiões do planeta.

A planta é conhecida por uma série de nomes populares – como coroa-de-cristo, cega-olho, lápis ou dedinho do diabo – e seu látex tem sido utilizado há séculos na medicina tradicional, incluindo o tratamento de tumores. No entanto, há evidências de que a toxicidade desse látex pode se elevar proporcionalmente ao nível de salinidade do solo (Varricchio, 2008).

A produtividade vegetal está diretamente relacionada às características edáficas, sendo os fatores físicos e químicos do solo determinantes na sustentação das plantas, bem como no fornecimento de ar, água e nutrientes. Apesar da importância desses fatores, muitas vezes, eles não recebem a devida atenção no manejo agrícola e ecológico (MCAERJ, 2013). No presente estudo, o espécime analisado foi coletado no jardim do IPPN/UFRJ, localizado em uma região litorânea de solo em contato direto com o fundo da Baía de Guanabara. Essa área, originalmente caracterizada como manguezal, foi aterrada para a construção do campus universitário. Segundo a FEEMA (1979), os ecossistemas de manguezais e marismas são altamente resilientes e estáveis, localizando-se em regiões de transição entre os ambientes marinho e terrestre, como baías, estuários e reentrâncias costeiras (Comissão Interministerial para a Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CIMA, 1991 In Varricchio et al., 2020).

Apesar da relevância ecológica e farmacológica das *Euphorbia*, ainda há uma escassez de informações científicas sobre suas interações ecofisiológicas e ecossistêmicas. Em especial, a literatura apresenta dados limitados sobre os efeitos dos extratos de *E. tirucalli* no sistema imunológico, com estudos apontando ora para uma ação imunossupressora, ora imunoestimulante. Além disso, os relatos de

intoxicação variam de acordo com a distribuição geográfica da planta, sugerindo a necessidade de investigações mais aprofundadas. O estudo do solo em que *E. tirucalli* se desenvolve pode fornecer pistas importantes para compreender os mecanismos de ação da planta e seu potencial uso na etnomedicina e na medicina tradicional (Vela, 2015).

Os resultados das análises edáficas do solo do IPPN indicam baixa concentração de fósforo e nitrogênio, além de um pH que varia de neutro a moderadamente alcalino. Esses fatores podem estar diretamente relacionados à composição química dos metabólitos secundários produzidos pela planta. Adicionalmente, as variações nos níveis de cálcio, magnésio, enxofre e potássio ao longo do perfil do solo sugerem possíveis impactos sobre a disponibilidade de nutrientes e a adaptação da espécie às condições ambientais locais. Considerando-se que o solo estudado está sujeito à influência das marés e à salinidade flutuante da Baía de Guanabara, novas investigações são necessárias para avaliar como essas variações afetam a produção de compostos bioativos em *E. tirucalli*.

Diante do exposto, este estudo reforça a importância da análise edáfica no entendimento das interações entre *E. tirucalli* e seu ambiente. A relação entre a química do solo e a produção de metabólitos secundários pode fornecer subsídios valiosos para futuras pesquisas sobre o potencial farmacológico dessa espécie, bem como para o aprimoramento de técnicas de cultivo e manejo sustentável.

- MORFOLOGIA VEGETAL

Na natureza, o látex e as estruturas funcionais da planta permanecem isolados devido à presença de ductos laticíferos, os quais são formados por células mortas especializadas na condução do látex (Milanez & Monteiro Neto, 1956). Essa estrutura anatômica impede que o látex, potencialmente irritante ou tóxico, entre em contato direto com tecidos vegetais essenciais, como o floema e o xilema, sendo um mecanismo de defesa contra variações ambientais (Hunter, 1994; Pennel & Lamb, 1997). Durante a injúria ao caule, rico em α -amilase, a liberação dessa enzima pode promover a lise do látex, levando à oxidação de ácidos graxos insaturados e resultando na formação de novos terpenóides, o que pode explicar a oxidação observada em algumas micropropagações realizadas (Varricchio et al., 2020).

Mwine (1991) e Mwine & Van Damme (2001) relatam a presença da anatomia de Kranz em espécimes africanos de *Euphorbia tirucalli*, o que sugere um metabolismo CAM adaptado a condições de estresse, como hiperluminosidade, altas temperaturas, vento intenso, altitude elevada e solos ácidos e

hipersalinos (Mwine & Van Damme, 2011). No entanto, os exemplares estudados no jardim do IPPN/UFRJ apresentaram diferenças morfológicas, o que sugere a influência do ambiente local na fisiologia da planta.

A ciclização de terpenóides presentes no látex ocorre como resposta à injúria, sendo um processo regulado tanto espacialmente (espaços subcelulares) quanto temporalmente, variando conforme o estágio de desenvolvimento do caule (McGarvey & Croteau, 1995). Além disso, os terpenóides desempenham papel na formação de outros produtos naturais, como lignina e floema, além de induzir morte celular programada necessária para a diferenciação dos ductos laticíferos (Taiz & Zeiger, 2002 In Varricchio, 2008).

A relação entre produtividade e fertilidade do solo merece destaque, pois, embora frequentemente tomadas como sinônimos, fertilidade refere-se à capacidade do solo de fornecer nutrientes em quantidade e momento adequados para o vegetal. A correção da fertilidade não implica, necessariamente, em aumento da produtividade (MCAERJ, 2013). Solos deficientes em cálcio, por exemplo, podem restringir o desenvolvimento radicular, sendo passível de correção por meio da aplicação de insumos como gesso agrícola, o que é especialmente relevante para culturas perenes sujeitas a déficit hídrico durante a estiagem (MCAERJ, 2013).

A presença de microrganismos no solo do IPPN/UFRJ sugere uma interação ecológica potencialmente determinante para as características do látex. Embora classicamente considerados patogênicos, esses microrganismos podem influenciar a composição química do látex, tornando-o mais hidrofílico, o que tem implicações biotecnológicas e farmacológicas. A distribuição radicular da planta analisada revelou um sistema radicular lignificado e nodulações marrons nas raízes secundárias, sugerindo um possível papel na fixação de nitrogênio, embora isso ainda necessite de confirmação.

Por fim, discute-se a possibilidade de que ésteres diterpênicos, mesmo transportados por lixiviação, não atinjam lençóis freáticos devido ao seu intenso caráter lipofílico, contrastando com a hipótese de Ito et al. (1981) sobre o envolvimento de *E. tirucalli* como co-fator no Linfoma de Burkitt no cinturão africano. Alternativamente, o mecanismo poderia estar relacionado à propensão dos terpenóides para perderem hidroxilas e ciclizarem a temperatura ambiente, tornando-se aromáticos e, posteriormente, pró-inflamatórios e co-promotores tumorais (McGarvey & Croteau, 1995 In Varricchio et al., 2020).

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A análise microbiológica das amostras de *Euphorbia tirucalli* envolveu a identificação de espécies contaminantes em culturas *in vitro* e em caules coletados no Jardim do IPPN. As amostras analisadas incluíram plantas sadias (assintomáticas) oriundas de campo e caules cultivados *in vitro* com sinais de contaminação. Os resultados indicaram a presença de *Rhizoctonia solani* e *Verticillium sp.* nos tecidos vegetais, com acréscimo de *Fusarium oxysporum* nas amostras *in vitro*.

Os altos índices de contaminação observados sugerem que as condições de cultivo *in vitro* proporcionaram um ambiente favorável à proliferação de microrganismos, possivelmente devido ao excesso de suprimento de água e solutos. *E. tirucalli*, embora adaptável a diversos ambientes, desenvolve-se melhor em solos pobres em nitrogênio e água, mas ricos em sais minerais (Furstenberger & Hecker, 1986). Essa diferença nutricional pode ter influenciado a contaminação nas culturas *in vitro* (Taiz & Zeiger, 2003). Estudos com *Euphorbia paralias* demonstram comportamento semelhante ao de plantas halófitas em condições de estresse hídrico (Elhaak, Migahid & Wegmann, 1997).

Apesar das condições de cultivo, não foi observada vitrificação, fenômeno comum em casos de hiperhidricidade e suprimento excessivo de nitrogênio (Torres, Caldas & Buso, 1999). Quanto à proliferação fúngica, sugere-se a hipótese de sua natureza endógena, uma vez que a contaminação ocorreu com tempo de latência prolongado, indicando a presença dos fungos no interior dos explantes, e não no meio de cultura. Além disso, as colônias apresentaram coloração branca enevoadada, característica de fungos endofíticos.

A presença de fungos endofíticos no látex de *Hevea brasiliensis* (árvore da seringueira, também da família *Euphorbiaceae*) tem importância econômica devido à produção de palmitatos que interferem na qualidade da borracha (Daï et al., 2001). Durante a Segunda Guerra Mundial, o látex de *E. tirucalli* foi processado para a produção de borracha, e a planta tem sido investigada por quase duas décadas como fonte de biomassa para produção de combustíveis nos Estados Unidos (Furstenberger & Hecker, 1986) e em países árabes (Salah-Zayed et al., 2001). Além disso, o látex de *Hevea brasiliensis* mostrou efeito sinérgico com a anfotericina B, atuando contra *Candida albicans* e *Cryptococcus neoformans* (Giordani et al., 2002).

A associação entre ácido palmítico produzido por fungos endofíticos e o aumento do rendimento fitoquímico de ingenol puro é de grande interesse biotecnológico. O ingenol, derivado do ingenano,

possui propriedades antitumorais e antivirais (anti-HIV), sendo extraído de *E. lathyris* (Bicchi et al., 2001). A exploração biotecnológica de *E. tirucalli* poderia seguir um caminho semelhante.

Os resultados do isolamento microbiológico em amostras de campo revelaram *Rhizoctonia solani* e *Verticillium sp.*, enquanto as culturas *in vitro* apresentaram adicionalmente *Fusarium oxysporum*. Essas análises sugerem uma relação patogenicidade-hospedeiro, possivelmente inibindo respostas de defesa e comprometendo a homeostase da planta. Essa alteração fisiológica pode explicar a aparente atenuação da toxicidade da *E. tirucalli* do Rio de Janeiro em comparação com dados da literatura clássica.

Ademais, ensaios com cultivo em vasos usando dois tipos de solo (do IPPN e nitrogenado marca Verde-Forte) sob aspersão de reguladores de crescimento vegetal mostraram que os exsudatos da planta alteraram o pH do solo, possivelmente servindo como substrato para a microbiota da rizosfera. Esse fenômeno, discutido por De Gara et al. (2003) e evidenciado por Varricchio et al. (2006), pode influenciar a composição microbiana do solo e a dinâmica da interação planta-microrganismo.

A análise técnica do solo do IPPN revelou que ele é classificado como franco-arenoso. A rotina padrão de análise para solos do Estado do Rio de Janeiro indicou baixo teor de fósforo, alto nível de potássio até 20 cm de profundidade e moderado entre 20 e 40 cm. Os níveis de alumínio, molibdênio e nitrogênio foram baixos em ambas as amostras, com pH neutro até 20 cm e moderadamente alcalino entre 20 e 40 cm. O carbono orgânico apresentou-se em baixa concentração em ambas as profundidades (MAERJ, 1988). Esses fatores podem influenciar diretamente a colonização microbiana e a adaptação de *E. tirucalli* no ambiente estudado.

Além disso, os resultados obtidos a partir da CLAE/UV de solo corroboram com a proposição de Ito e colaboradores (1981), que sugerem a possibilidade de contaminação ambiental devido à persistência de diterpenóides em redes fluviais e no solo. O aumento na detecção de tiglanos em nossos ensaios prévios em biotecnologia vegetal reflete observações semelhantes às de Furstenberger & Hecker (1996), que, ao analisarem os efeitos de fatores físicos como pH, luz e calor, destacam que estes podem instabilizar os ésteres de forbol isolados de *E. tirucalli* de origem africana, favorecendo sua aromatização. Diante disso, a extração intensiva por meio de variações extremas de temperatura mostra-se de grande interesse para futuros estudos sobre tiglanos e proteínas estruturais de parede, como a α -amilase.

Com o objetivo de entender melhor os resultados dos nossos ensaios biológicos e de cultivo, foi essencial realizarmos a análise técnica do solo, o qual foi classificado como franco-arenoso. A rotina

de análise do solo do Estado do Rio de Janeiro, utilizando extrator duplo-ácido, revelou que o solo do jardim do IPPN, em ambas as profundidades de coleta, apresenta baixo nível de fósforo. Em relação ao potássio, o nível é alto até 20 cm de profundidade e médio entre 20 e 40 cm. Os níveis de alumínio, molibdênio e nitrogênio são baixos em ambas as amostras. O pH do solo é neutro até 20 cm e moderadamente alcalino entre 20 e 40 cm. O carbono orgânico também se mostrou baixo em ambas as profundidades (MAERJ, 1988).

A análise da variação da acidez efetiva do solo (EMBRAPA, 1979) para os ensaios com reguladores de crescimento vegetal indicou que os produtos exsudados pela planta foram capazes de modificar o pH do solo. Esses exsudatos podem atuar como substratos para a microbiota, promovendo o equilíbrio e a regulação das populações microbianas na rizosfera, conforme discutido por De Gara et al. (2003) e evidenciado por Varricchio et al. (2006).

Ademais, a detecção de terpenóides, taninos, flavonoides e até polifenóis tem o potencial de contribuir em processos de fitorremediação. Esses compostos, especialmente em ensaios de biorremediação de solos e microbiota expoliados, podem ser utilizados na correção de solo (Varricchio et al., 2006), auxiliando em períodos de repouso do solo em culturas intercalares, como feijão e soja.

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

A detecção de bactérias e fungos endofíticos pode ajudar a explicar a atenuação da toxicidade observada em *E. tirucalli* do Rio de Janeiro, uma vez que essas substâncias não exercem atividade tóxica nos ensaios de toxicologia clássica, conforme os padrões da ANVISA (Varricchio et al., 2019). A relação direta entre a presença de ácido palmítico, produzido por fungos endofíticos, e o aumento do rendimento fitoquímico de ingenol puro, uma substância não tóxica derivada do ingenano, é de grande interesse biotecnológico. O ingenol, conhecido por suas importantes atividades antitumorais e antivirais (anti-HIV), é obtido por meio da hidrólise seletiva de derivados do ingenano, presentes em *E. lathyris* (Bicchi et al., 2001).

Além disso, o látex de *Hevea brasiliensis* demonstrou sinergismo com o antifúngico Anfotericina B, mostrando atividade contra *Candida albicans* e *Cryptococcus neoformans* (Giordani et al., 2002). Em consonância com a utilidade biotecnológica das *Euphorbiaceae*, previamente discutida por Trindade & Lameira (2014), esse procedimento fitoquímico pode ser adotado para explorar o potencial biotecnológico de *E. tirucalli*, associado à identificação e ao estudo do fungo endofítico.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo revelam uma complexa interação entre *Euphorbia tirucalli* e a microbiota associada, incluindo a presença de fungos endofíticos e bactérias que, provavelmente, desempenham um papel crucial na atenuação da toxicidade da planta, algo que se manifesta de forma divergente nos ensaios de toxicologia clássica. A presença de compostos bioativos como o ácido palmítico, sintetizado por fungos endofíticos, e o ingenol, derivado do ingenano, destaca o potencial biotecnológico da planta, especialmente em áreas de pesquisa em terapias antitumorais e antivirais, além da possibilidade de aplicações em bioremediação.

A análise do solo e dos fatores ambientais, como pH e nutrientes, corroborou com a necessidade de considerar o contexto ecológico da planta, e a contribuição de seus exsudatos para o equilíbrio da microbiota na rizosfera. A exploração do potencial fitoquímico de *E. tirucalli*, especialmente em parceria com fungos endofíticos, oferece novas perspectivas para o desenvolvimento de soluções biotecnológicas, principalmente no que tange à obtenção de substâncias com propriedades terapêuticas.

Este estudo abre portas para o aprofundamento da pesquisa sobre as propriedades biológicas e as interações entre a planta e sua microbiota, destacando a importância da análise microbiológica para a compreensão dos efeitos biológicos de plantas com potencial terapêutico. A continuidade da pesquisa, envolvendo tanto aspectos fitoquímicos quanto microbiológicos, é fundamental para elucidar o real potencial de *E. tirucalli* e suas aplicações práticas na biotecnologia e na medicina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BETANCUR-GALVIS, LA; MORALES, GE; FORERO, JE; ROLDAN, J. Cytotoxic and antiviral activities of Colombian medicinal plant extracts of the Euphorbia genus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, RJ*, v. 97, n. 4, p. 541-546, jun. 2002.

BICCHI, C. HPLC-UV and HPLC-positive-ESI-MS analysis of the diterpenoid fraction from Caper Spurge (*Euphorbia lathyris*) seed oil. *Phytochemical Analysis*, v. 12, p. 255-262, 2001.

BOSCH, C.A. VAN DEN. Is endemic Burkitt's lymphoma an alliance between three infections and a tumour promoter? *The Lancet Oncology, UK*, v. 5, p. 738-746, dez. 2004.

CHRISTOPHERSON, Robert W. Geossistemas – Uma introdução à geografia física. Tradução de Francisco Eliseu Aquino ... [et al.]. Porto Alegre: Bookman, 7ª ed., 2012.

DAGANG, W.; SORG, B.; HECKER, E. Oligo- and Macrocyclic Diterpenes in Thymelaeaceae and Euphorbiaceae Occurring and Utilized in Yunnan (Southwest China). 6. Tiglane type diterpene esters from latex of *Euphorbia prolifera*. *Phytotherapy Research, USA*, v. 8, p. 95-99, 1994.

DAÍ, C.C. Comparative studies on the fatty acids contained in four species of medicinal plants from family Euphorbiaceae and their endophytic fungi. Abstract. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi, China*, v. 26, n. 9, p. 592-595, set. 2001.

DE GARA, L.; DE PINTO, M.C.; TOMMASI, F. The antioxidant systems vis-à-vis reactive oxygen species during plant-pathogen interaction. *Plant Physiology and Biochemistry, USA, Elsevier SAS*, v. 41, p. 863-870, 2003.

DELAUNAY, N.; MUSMANNO, P.; SILVA, S. da; PYRRHO, A. dos S.; KUSTER, R.M.; VARRICCHIO, M.C.B.N.; CASTELO BRANCO, M.T.L. *Euphorbia tirucalli* como indicador paleo continental no noroeste da Bahia e faixa litorânea da Angola. GEOSUDESTE, UNICAMP, 2019.

DIMITRIJEVIC, S.M.; HUMER, U.; SHEHADEH, M.; JONATHAN RYVES, W.; HASSAN, N.M.; EVANS, F.J. Analysis and purification of phorbol esters using normal phase HPLC and photodiode-array detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, UK*, v. 15, p. 393-401, 1996.

EMBRAPA. Serviço. Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. Manual de métodos de análise de solo. Rio de. Janeiro, SNLCS, 1979. 233 páginas. Infoteca EMBRAPA. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br › doc › M...>

EMBRAPA SOLOS. Estudo de correlação de solos no Recôncavo baiano, em Irecê. RJ. 2000. 49p.

ELHAAK, M. A.; MIGAHID, M. M.; WEGMANN, K. Ecophysiological studies on *Euphorbia paralias* under soil salinity and sea water spray treatments. *Journal of Arid Environments, Academic Press Limited*, v. 35, p. 459-471, 1997.

FEEMA. Os Manguezais do Recôncavo da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro, Série Técnica 10/79, Cadernos FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 113 p., 1979.

FURSTENBERGER, G.; HECKER, E. On the active principles of the Euphorbiaceae, XII. Highly unsaturated irritant diterpene esters from *Euphorbia tirucalli* originating from Madagascar. *Journal of Natural Products*, Germany, may-jun, v. 49, n. 3, p. 386-397, 1986.

GIORDANI, R.; REGLI, P.; BUC, J. Antifungal effect of *Hevea brasiliensis* latex with various fungi. Its synergistic action with amphotericin B against *Candida albicans*. *Mycoses*, v. 45, n. 11-12, p. 476-481, 2002.

HUNTER, J.R. Reconsidering the functions of latex. *Trees*, USA, v. 9, p. 1-5, 1994.

ITO, Y.; KAWANISHI, M.; HARAYAMA, T.; TAKABAYASHI, S. Combined effect of the extracts from *Croton tiglium*, *Euphorbia lathyris* or *Euphorbia tirucalli* and n-butyrate on Epstein-Barr Virus expression in human lymphoblastoid P3HR-1 and Raji cells. *Cancer Letters*, USA, v. 12, p. 175-180, 1981.

MANUAL DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO. MAERJ, 1988.

MANUAL DE CALAGEM E ADUBAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. MCAERJ, 2013.

MCGARVEY, D.J. & CROTEAU, R. Terpenoid metabolism. *The Plant Cell*, v. 7, p. 1015-1026, jul. 1995.

MILANEZ, F.R. & MONTEIRO NETO, H. Origem dos laticíferos do embrião de *Euphorbia pulcherrima*, Willd. RJ: *Rodriguésia – Revista do Jardim Botânico*, p. 351-395, 1956.

MWINE, J. T.; VAN DAMME, P. Why do Euphorbiaceae tick as medicinal plants? A review of Euphorbiaceae family and its medicinal features. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 5, n. 5, p. 652-662, 4 mar. 2011. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/JMPR>. Acesso em: 27 mar. 2025.

PENNEL, R. I.; LAMB, C. Programmed cell death in plants. *The Plant Cell*, American Society of Plant Physiologists, USA, v. 9, p. 1157-1168, jul. 1997.

SALAH-ZAYED, S. M. A. D.; FARGHALY, S.M.; GOTTA, H.; SORG, B.; HECKER, E. Dietary cancer risk conditional cancerogens in produce of livestock fed on species of spurge (Euphorbiaceae). V. Skin irritant and tumor-promoting diterpene ester toxins of the tiglane and ingenane type in the herbs *Euphorbia nubica* and *Euphorbia helioscopia* contaminating fodder of livestock. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, USA, v. 127, p. 40-47, 2001.

SANTA CLARA JR., P.; PEREIRA, C.; SALES, F.; GOMES, T.; VARRICCHIO, M.C.B.N.; KUSTER, R.M.; CASTELO BRANCO, M.T.L. *Euphorbia tirucalli* from Campus Ilha do Fundão/UFRJ and routes of apoptosis in vitro to Melan A and MCF7 Lineages. *INFO_SAPB - Revista de Apoio ao Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ*, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb?authuser=0#h.p_Ao3lwclpMYL6. Acesso em: 27 mar. 2025.

SOUZA, L. S. DE; PUZIOL, L. C.; TOSTA, C. L.; BITTENCOURT, M. L.F.; ARDISSON, J. S.; KITAGAWA, R. R.; FILGUEIRAS, P. R.; KUSTER, R. M. Analytical methods to access the chemical composition of an *Euphorbia tirucalli* anticancer latex from traditional Brazilian medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 237, p. 255-265, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. USA: Sinauer Associates Inc. Publishers, 2002. 690 p.

TORRES, A.C.; CALDAS, J. A.; BUSO, A. Cultura de tecidos e transformação genética de plantas. 1999. Brasília: EMBRAPA. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br> > consulta.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em Ecologia. 3rd ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TRINDADE, M. J. DE S.; LAMEIRA, O. A. Espécies úteis da família Euphorbiaceae no Brasil. Artigo de Revisão Revista da EMBRAPA, 2014. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130967/1/LameiraArtigo2014.pdf>.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; PEREIRA, C.; SALES, F.; GOMES, T.; VARRICCHIO, M. T.; MOREIRA, C. B.; DIREITO, I. C. N.; ARAÚJO, B. E.; PYRRHO, A.; HOLANDINO, C.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Avaliação qualitativa da produção de diterpenóides de *Euphorbia tirucalli* (Aveloz) sob condições controladas para fins medicinais. Revista Anais Fertbio/EMBRAPA Centro-Oeste, MS, setembro 2006, p. 20–24.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; NAGAMATSU, D.; SILVA, S. DA; HOLANDINO, C.; LAGE, C. L. S.; KUSTER, R. M.; CASTELO BRANCO, M. T. L. Contribuição da análise química qualitativa por CLAE/UV de preparos do látex tóxico de *Euphorbia tirucalli* para a sensibilização em educação ambiental sobre o emprego e os riscos de extratos vegetais não padronizados. Arquivos FOG – Saúde, Sociedade, Gestão, Meio Ambiente, RJ, ISSN 1808-8872, 2008.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; KUSTER, R. M.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; LAGE, C. L. S. Estudo ecofisiológico de *Euphorbia tirucalli* (Aveloz), salinidade em micropropagação e marcadores de atividades em Biotecnologia Vegetal. 2020, v. 4, n. 2. Available at: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; LAGE, C. L. S.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Estudo químico do solo de *Euphorbia tirucalli* do jardim do IPPN/UFRJ Campus Ilha do Fundão com fins medicinais. 2020a, v. 4, n. 2. Available at: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw.

VELA, JOÃO MARCELO. Vegetação da África. Dissertação de Mestrado pela UFSC, 2015.

WHELAN, L. C.; RYAN, M. F. Ethanolic extracts of *Euphorbia* and other ethnobotanical species as inhibitors of human tumour cell growth. Phytomedicine, v. 10, n. 1, p. 53–58, USA, 2003.

Capítulo 5



10.37423/250309833

EUPHORBIA TIRUCALLI COMO INDICADOR PALEOCONTINENTAL NO NOROESTE DA BAHIA E NA FAIXA COSTEIRA DE ANGOLA (CRÁTON DO CONGO)

Nicole Delaunay de Souza

Universidade Federal do Pará

Sandra Ávila Gaspar

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Simone da Silva

*Centro de Bionegócios da Amazônia ,
Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da
Amazônia
Universidade Federal do Rio de Janeiro*

Alexandre dos Santos Pyrrho

Ricardo Machado Kuster

Universidade Federal do Espírito Santo

Celso Luiz Salgueiro Lage

Instituto Nacional de Propriedade Industrial

Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Morgana T. L. Castelo Branco

Universidade Federal do Rio de Janeiro



Resumo: Este capítulo propõe a hipótese de que a *Euphorbia tirucalli*, tradicionalmente considerada uma espécie africana adaptada a ambientes semiáridos, pode atuar como um bioindicador paleocontinental, refletindo antigas conexões entre o Cráton do São Francisco (Brasil) e o Cráton do Congo (Angola), anteriormente unidos no supercontinente Gondwana. A abordagem integra dados geológicos, estratigráficos e geocronológicos com informações ecofisiológicas e anatômicas da espécie vegetal. A ocorrência atual de *E. tirucalli* em ambas as margens do Atlântico Sul, associada à sua plasticidade adaptativa (metabolismo CAM, resistência à salinidade, produção de metabólitos secundários), é analisada à luz de possíveis rotas de dispersão paleobiogeográficas. Os resultados sugerem que a distribuição dessa espécie pode guardar registros da fragmentação continental, reforçando sua relevância como marcador biogeográfico em estudos de reconstrução paleogeográfica.

Palavras-chave: *Euphorbia tirucalli*; indicador paleocontinental; indicador biogeográfico; reconstrução paleogeográfica.

INTRODUÇÃO

O continente africano está situado predominantemente sobre uma única placa tectônica, a Placa Africana, diferente da Europa, que compartilha a Placa Euroasiática com porções da Ásia, refletindo um cenário tectônico mais fragmentado. A base geológica da África é composta majoritariamente por crátons arqueanos, como os do Congo, África Ocidental e Kalahari, além de extensos cinturões móveis proterozoicos, que representam alguns dos registros mais antigos e estáveis da crosta continental (Schmidt et al., 2021; de Wit et al., 2008).

Esses terrenos cratônicos, caracterizados por sua estabilidade tectônica e resistência à deformação desde o Arqueano, são margeados por cinturões orogênicos dobrados, que registram episódios de colisão e sutura continental ocorridos principalmente durante o Paleoproterozoico e Neoproterozoico, como os eventos da Orogenia Eburneana, Kibaran e Pan-Africana (Schmidt et al., 2019; Burke & Dewey, 1972; Kroner & Stern, 2004). Essa configuração tectônica complexa desempenhou um papel fundamental na evolução paleogeográfica do supercontinente Gondwana e nas conexões entre as margens conjugadas da África e da América do Sul. Apesar de sua estabilidade tectônica relativa, diversas regiões do continente foram intensamente afetadas por processos erosivos, resultando em superfícies aplainadas e paisagens com baixos níveis de relevo (De Wit et al., 2001, UOL Educação, 2019).

Do Centro ao Sul, inclusive a ilha de Madagascar; o clima desértico, por sua vez, compreende uma grande extensão da África, acompanhando os desertos do Saara e de Calaari. A pluviosidade na África é bastante desigual, sendo a principal responsável pelas grandes diferenças entre as paisagens africanas. As chuvas ocorrem com abundância na região equatorial, mas são insignificantes nas proximidades do Trópico de Câncer, onde se localiza o deserto do Saara, e do Trópico de Capricórnio, região pela qual se estende o Calaari (UOL Educação, 2019), portanto, a África apresenta uma grande variedade de formações vegetais.

Os climas secos (desértico e semidesértico) ocupam grande parte do norte e uma faixa no litoral sudoeste da África. Sendo assim, as vegetações associadas a esses climas também ocupam essas faixas. A vegetação dos desertos varia de quase nenhuma, nas áreas de climas árido, aos numerosos arbustos xerófitos adaptados ao clima seco e quente, nas áreas de transição para climas mais úmidos. Esses arbustos xerófitos apresentam raízes profundas e capilarizadas, aumentando a área de absorção da umidade, e caules e folhas duros e cobertos por cera ou pelos, para evitar a transpiração da planta.

Encontra-se também plantas de caule suculento, como os cactos, que armazenam água nos seus caules (Townsend; Begon; Harper, 2010; Christopherson, 2012; Vela, 2015).

As savanas de climas tropicais dominam as regiões central e sul da África, além do oeste de Madagascar, e fazem a transição para os desertos africanos. A floresta tropical é encontrada principalmente no litoral centro oeste da África, com um pequeno enclave na região da Costa do Marfim e no litoral leste de Madagascar. O clima úmido e quente favorece a grande biodiversidade encontrada nessas áreas (Townsend; Begon; Harper, 2010; Christopherson, 2012; Vela, 2015).

Vários usos de Euphorbiaceae africanas incluem a produção de biodiesel, por ex. *Euphorbia tirucalli* (Duke, 1983; Van Damme, 2001), *Euphorbia lathyris* (Duke, 1983); *J. curcas*; *M. esculenta*; *R. communis*, entre outros. Outras são fontes de alimento, por ex. *M. esculenta* e de amido (FAO, 1973), enquanto outras são ornamentais devido à sua atratividade, como *Euphorbia milli*, *Euphorbia tirucalli* (Van Damme, 1989 e 2001), *Euphorbia obesa* e *Euphorbia pulcherrima*. Outros usos menores incluem a produção de lenha, curvatura de artesanatos de madeira, uso como plantas de sebes/cercas, produção de madeira, uso em programas de reflorestamento e outros (Mwine; Van Damme, 2011).

O relato acima indica que, além de outros usos mencionados, Euphorbiaceae é uma fonte importante de fitoterapia de importância humana, veterinária e agrícola. Esta família é significativa enquanto um táxon medicinal (Mwine; Van Damme, 2011).

Diante do contexto geotectônico compartilhado entre o nordeste da Bahia e a faixa litorânea de Angola, e considerando as evidências de afinidade litológica, estrutural e cronoestratigráfica entre as bacias sedimentares neoproterozoicas dessas regiões (Armistead et al., 2021; Torsvik et al., 2009), torna-se pertinente questionar: em que medida os padrões de vegetação atual, como a ocorrência disjunta de espécies da família Euphorbiaceae, especialmente *Euphorbia tirucalli*, podem refletir heranças paleogeográficas associadas à fragmentação do Gondwana? Tal questionamento se apoia não apenas na similaridade geológica entre as margens opostas do Atlântico Sul, mas também nas possíveis conexões paleoambientais e paleobiogeográficas que influenciaram a distribuição de táxons vegetais em contextos ecológicos análogos (Morley, 2003; Besnard et al., 2009).

OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Investigar as correlações geológicas entre a faixa costeira de Angola e o noroeste do estado da Bahia, com foco na identificação de elementos estruturais, litológicos, geocronológicos e bioindicadores que sustentem a hipótese de reconexão paleocontinental entre o Cráton do Congo e o Cráton do São Francisco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os registros litoestratigráficos e estruturais das bacias proterozoicas situadas nas regiões estudadas, buscando similaridades em suas evoluções tectono-sedimentares.
- Avaliar a distribuição e a ocorrência de espécies vegetais como *Euphorbia tirucalli*, investigando seu potencial como bioindicador de paleocontinentes.
- Compilar e comparar dados geocronológicos disponíveis das unidades analisadas, com base em datações U-Pb e Sm-Nd, buscando marcos temporais comuns.
- Discutir os principais modelos paleogeográficos que explicam a configuração do Gondwana Ocidental, à luz das evidências regionais das margens conjugadas Brasil-África.
- Contribuir para o entendimento das conexões crustais entre os crátons do Congo e do São Francisco, reforçando os modelos de reconexão continental com base em evidências geológicas integradas.

HIPÓTESE DE TRABALHO

Considerando a semelhança entre as unidades litoestratigráficas, estruturas tectônicas e idades isotópicas, supõe-se que a *Euphorbia tirucalli* pode ser uma indicadora paleocontinental e biogeográfica entre as regiões da faixa costeira de Angola e do noroeste da Bahia, que compartilham uma origem geológica comum, estando previamente conectadas no contexto do supercontinente Gondwana. Essa hipótese se fundamenta na continuidade entre os crátons do Congo e do São Francisco antes da abertura do Oceano Atlântico Sul.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo consistiu em uma abordagem qualitativa e comparativa, estruturada em quatro eixos principais: análise bibliográfica, correlação geológica, integração de dados biogeográficos e síntese tectônica. O objetivo foi investigar possíveis vínculos paleocontinentais entre as regiões da faixa costeira de Angola e o noroeste da Bahia, considerando suas semelhanças cratônicas e evidências multielementares.

1. Revisão bibliográfica especializada:

Foram consultadas publicações científicas nacionais e internacionais indexadas, além de documentos técnicos produzidos por instituições geológicas e artigos publicados em periódicos especializados em tectônica, geocronologia e paleogeografia. A revisão teve como foco os seguintes temas: evolução geológica dos crátons do Congo e do São Francisco, tectônica proterozoica, sedimentação em bacias costeiras, registros paleontológicos e botânicos, e modelos paleogeográficos do Gondwana Ocidental.

2. Correlação geológica entre as margens conjugadas:

Foram comparadas unidades litoestratigráficas e dados estruturais das regiões estudadas, com base em mapas geológicos, colunas estratigráficas publicadas e perfis tectono-sedimentares. As similaridades foram avaliadas segundo parâmetros como litologia predominante, estilos estruturais (dobramentos, falhamentos, discordâncias), direções de estruturas e idades isotópicas (U-Pb, Sm-Nd e Ar-Ar), priorizando intervalos entre o Paleoproterozoico e o Neoproterozoico.

3. Integração de indicadores biogeográficos:

Foi analisada a ocorrência da espécie *Euphorbia tirucalli* em ambas as regiões como possível indicador de paleocontinente, considerando estudos de ecologia, biogeografia e adaptação anatômica. A presença simultânea dessa espécie nas duas margens e suas implicações paleogeográficas foram discutidas à luz da dispersão continental, condições paleoambientais e rotas migratórias pós-fragmentação.

4. Síntese paleogeográfica e interpretação tectônica:

A partir da integração dos dados geológicos, estruturais, geocronológicos e bioindicadores, foi realizada uma análise interpretativa sobre a possível continuidade crustal entre os crátons do Congo e do São Francisco. Essa etapa incluiu a construção de esquemas interpretativos e a comparação com

modelos paleogeográficos já propostos na literatura, como os de Cordani et al. (2003), Kröner & Cordani (2003) e Armistead et al. (2021).

A metodologia empregada busca fundamentar, de forma multidisciplinar, a hipótese de reconexão paleocontinental entre os segmentos leste do Brasil e oeste da África, contribuindo com subsídios para estudos sobre a fragmentação do Gondwana e os processos evolutivos das margens cratônicas tropicais.

DESENVOLVIMENTO

Mwine & Van Damme (2011) citam quanto à ecofisiologia e a anatomia vegetal, um bom número de espécies de Euphorbiaceae, especialmente do gênero *Euphorbia* (650 espécies), são suculentas. O autor descreve a suculência como uma característica da planta, principalmente tropical ou subtropical, que precisa conservar água devido à aridez do habitat, uma característica que torna uma planta temporariamente independente do suprimento externo de água quando as condições da água do solo se deterioram de tal forma que as raízes não são mais capazes de fornecer a água necessária do solo. Eles argumentam que esta é apenas uma adaptação temporária à aridez e, a menos que as condições permitam o reabastecimento dos tecidos suculentos da planta, ela não sobreviverá.

Isso implica que tais plantas tendem a evitar mecanismos que resultam em perda de água (superfície foliar fina, folhas largas e um grande número de folhas), enquanto elas investem em características que conservam água, tais como folhas cerosas grossas, folhas escamosas ou espinhos, estômatos menos/afundados, uso de caules para fotossíntese, uso do Metabolismo Ácido Crassuláceo (CAM) e outros. É, portanto, uma estratégia de sobrevivência para plantas em áreas áridas e semiáridas (Mwine; Van Damme, 2011).

A suculência foliar é um correlato morfológico chave da capacidade de emprego do Metabolismo Ácido Crassuláceo (CAM), uma vez que a suculência aumenta o comprometimento das plantas com o uso da via CAM durante a fixação de dióxido de carbono. Em seus experimentos com duas plantas suculentas, os últimos autores descobriram que a magnitude de CAM era maior para as folhas mais suculentas de *Kalanchoe daigremontiana* Raym. Hamet e H. Perrier (Crassulaceae) em comparação com as folhas menos suculentas de *Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers. (Mwine; Van Damme, 2011).

No mesmo sentido, Van Damme (1989) já havia apontado anteriormente para a síndrome de suculência CAM afirmando que os dois sempre devem andar juntos, com o que Lüttge (2004) concorda insistindo que todas as plantas CAM exibem algum nível de suculência (Mwine; Van Damme, 2011).

A via CAM é conhecida por estar sob controle circadiano e está sujeita à regulação por múltiplos osciladores, que modulam elementos da via de acordo com as condições ambientais (Borland et al., 1999; Borland & Taybi, 2004). Em consonância com isso, Lüttge (2004 e 2008) é citado por ter enumerado uma "riqueza de fatores ambientais" conhecidos por determinar, ou pelo menos modular a expressão de CAM para incluir: dióxido de carbono, água, temperaturas absolutas, regimes de temperatura dia-noite, irradiância e salinidade, entre outros (Mwine; Van Damme, 2011).

O autor citado fornece um modelo que relaciona esses fatores, concluindo que os ecossistemas propensos a CAM são aqueles que são governados por uma rede de fatores de estresse interativos que exigem respostas versáteis e não sistemas onde um único fator de estresse prevalece fortemente. Eles apontam uma série de domínios ou ecossistemas de CAM que provavelmente hospedam plantas CAM/suculentas, incluindo locais aquáticos submersos, desertos, salinas, savanas, inselbergs, florestas e altas latitudes, como terras altas tropicais e regiões alpinas. Isso implica que, embora a via CAM seja uma adaptação para plantas suculentas para equilibrar seus orçamentos de carbono e água, também é um mecanismo de sobrevivência para condições adversas (Mwine; Van Damme, 2011).

De fato, a extensão da suculência tem sido positivamente correlacionada tanto à colonização de habitats cada vez mais áridos quanto a uma maior contribuição da atividade CAM para o ganho total de carbono, implicando que as plantas suculentas estão mais bem equipadas para a colonização de novos habitats do que seus parentes não suculentos ou menos suculentos, o que lhes dá maiores chances de sobrevivência em uma gama de habitats mais ampla (Mwine; Van Damme, 2011).

Como uma adaptação extra, descobriu-se que algumas plantas suculentas combinam as vias C3 e CAM. Por exemplo, Van Damme (1989 e 2001) relata que *E. tirucalli* (africana) utiliza ambas as vias. Suas minúsculas folhas caducas utilizam a via C3, enquanto o caule utiliza a CAM. Explica que as folhas pequenas são preferencialmente usadas em situações normais, enquanto o caule verde assume quando as folhas caem em condições áridas. Segundo ele, uma combinação de ambos os caminhos aumenta a eficiência do uso de água (WUE) da planta, uma vez que as folhas pequenas têm uma alta afinidade pelo dióxido de carbono, mas tendem a usar a água de forma menos eficiente (apud Mwine; Van Damme, 2011).

Van Damme propõe que pode haver muitas outras Euphorbiaceae usando o mesmo mecanismo, uma vez que melhora a produtividade e a capacidade de colonizar uma ampla gama de habitats. Bem conhecido é que as Euphorbiaceae são amplamente distribuídas em quase todos os habitats e ocupam uma ampla gama de disparidades climáticas e de solo. Diferentes condições de habitat, por exemplo,

solos, pH, temperaturas e umidade tendem a influenciar os processos fisiológicos das plantas, daí a fabricação e o acúmulo de diferentes substâncias químicas. Por exemplo, alteração fisiológica das proporções de enzimas fotossintéticas para se ajustar às mudanças nas condições de luz, produção de suberina para limitar a perda de umidade das raízes, regulação genética de enzimas em resposta à limitação de recursos ou produção de metabólitos secundários nas folhas em resposta ao ataque de insetos/microbianos (Mwine; Van Damme, 2011).

Na mesma visão, Veronese et al. (2003) descobriram que diferentes herbívoros (como encontrados em diferentes ambientes) tendem a induzir a ação de diferentes sistemas de defesa. Portanto, devido a uma ampla gama de condições, às quais diferentes espécies de Euphorbiaceae são submetidas, estas últimas tendem a fabricar uma ampla gama de substâncias vegetais secundárias para auxiliar na resposta a uma disparidade de estímulos em seus habitats particulares (Mwine; Van Damme, 2011).

Zhang et al. (2000 apud Mwine; Van Damme, 2011) relataram a fabricação de diferentes lectinas devido a diferentes fatores de estresse ambiental que ocorrem em habitats variados. As lectinas constituem parte do sistema de defesa de uma planta contra herbívoros (Van Damme, 2008). Hadacek (2002 apud Mwine; Van Damme, 2011) afirma que a biossíntese e o acúmulo de metabólitos secundários surgem de processos altamente regulados que exigem controles genéticos e específicos do ambiente. A variação nos perfis de metabólitos secundários foram atribuídas, entre outros fatores, à expressão diferencial de genes correspondentes, mas também a mudanças na sequência genética e mutações (Theis & Lerda, 2003 – apud Mwine; Van Damme, 2011).

Esses fatores geneticamente relacionados agem na esteira de fatores ambientais variáveis, para causar alterações em conjuntos de metabólitos secundários refletindo adaptações e estratégias de vida particulares incorporadas em uma determinada estrutura filogenética (Koricheva et al., 1998). Conforme indicado por Ogunwenmo et al. (2007), esse argumento parece plausível para o caso de famílias amplamente distribuídas como Euphorbiaceae. Metabólitos secundários variáveis podem ser sintetizados dentro do táxon, como resultado de diferentes expressões gênicas e aumento de cargas de mutação, decorrentes de ambientes estressantes que caracterizam a maioria dos habitats de Euphorbiaceae. Isso pode resultar em um conjunto mais rico de metabólitos secundários dentro da família (Mwine; Van Damme, 2011).

Durante sua evolução, as plantas CAM desenvolveram uma série de mudanças/adaptações anatômicas, fisiológicas e genéticas, que as diferenciam das plantas C3. Cushman e Bohnert (1997) mencionam várias delas, como células de paredes finas contendo vacúolos proeminentes, vários graus

de suculência e capacidade de lidar com altos graus de acumulação de ácido orgânico. Cushman e Bohnert (1997) dizem que, assim como os processos de evolução, a indução CAM ou o processo de mudança de C3 para CAM envolve a regulação de uma variedade de enzimas e transportadores de metabólitos, tornando-a uma adaptação metabólica muito complexa ao estresse ambiental (Mwine; Van Damme, 2011).

Eles dão um exemplo de atividades aumentadas de enzimas glicolíticas, gliconeogênicas e do metabolismo do ácido C4, incluindo fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC), fosfoenolpiruvato carboxiquinase (PEPCK) e piruvato fosfato diquinase (PPDK), que aumentam 40 vezes devido ao estresse ambiental (Mwine; Van Damme, 2011).

Do lado genético, ensaios de transcrição com núcleos isolados de folhas de *Mesembryanthemum crystallinum* L. (Aizoaceae), mostram que os genes específicos de CAM aumentam de duas a seis vezes quando as plantas são expostas a alta salinidade (um fator estressor). Em apoio, Borland e Taybi (2004) observam que, embora os processos fisiológicos associados a esse alto acúmulo de ácido orgânico sejam intensivos em energia, o potencial para alta produtividade não é comprometido. Como os ácidos orgânicos e os genes são responsáveis pelos processos fisiológicos das plantas, isso implica que as plantas CAM provavelmente terão maior produtividade tanto em quantidade quanto em qualidade (variedade) de substâncias químicas, incluindo enzimas, proteínas, aminoácidos, bem como metabólitos secundários de várias naturezas. A posse de uma variedade de substâncias químicas pode implicar ser rico em atributos medicinais.

Euphorbia tirucalli do jardim do Instituto de Pesquisa de Produtos Naturais no Campus Ilha do Fundão (IPPN/UFRJ), situada em uma área aterrada em contato com a Baía de Guanabara, é estudada por nosso grupo desde 2003 (Varricchio et al., 2006; 2008; 2019; Santa Clara Jr. et al., 2017).

Se o espécimen estudado tiver produção química semelhante à da África, ele poderá servir como controle positivo para nossos experimentos. Em caso afirmativo, pensando em uma planta suculenta halófito: Poderia ser uma espécie CAM alternativa? Investigações quanto à morfologia vegetal evidenciaram que embora seja xerófito, halófito e suculento, ele não possui anatomia Kranz, consequentemente, não exibindo metabolismo CAM (Varricchio et al., 2020). Análises de solo por intermédio de cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a espectro de absorbância ultravioleta evidenciou exudação de sua raiz em cabeleira de diterpenoides polihidroxilados com afinidade à água (Varricchio et al., 2020a).

Devido à sua presença desde a época do supercontinente Gondwana e à sua ampla dispersão no planeta, são descritas produções químicas vegetais constantes, porém por muitas vezes distintas enquanto metabólitos secundários sintetizados em respostas às interações ecossistêmicas complexas para ambientes variados, exibindo, portanto, atividades toxicológicas e farmacológicas diferentes e por vezes contrárias dos relatos da literatura científica clássica, em acordo com a distribuição geográfica e, aparentemente, o período temporal de surgimento destas localidades sugerindo talvez estar em acordo com a Teoria da Deriva Continental (Varricchio et al., 2019; 2020, a).

A partir do conceito de Deriva Continental proposto por Wegener e reforçado ao longo do século XX, compreende-se que há aproximadamente 180 milhões de anos iniciou-se a fragmentação do supercontinente Gondwana, resultando na separação das massas continentais que atualmente formam a América do Sul, África, Índia, Austrália e Antártida (Scotese, 2001; Delaunay et al., 2019). Esse processo tectônico teve profundas implicações na configuração geológica atual dos continentes, e diversas evidências estruturais, estratigráficas e geocronológicas têm sido utilizadas para reconstruir os antigos vínculos entre essas massas continentais.

O noroeste da Bahia, no Brasil, representa uma área-chave para esse tipo de investigação, pois abriga a borda ocidental do Cráton do São Francisco — um dos núcleos arqueanos mais antigos e estáveis do Gondwana Ocidental. Essa região registra uma longa história de evolução tectônica e sedimentar, incluindo fases de crescimento continental, reativação crustal e desenvolvimento de bacias proterozoicas, que antecederam os eventos orogênicos do Neoproterozoico relacionados à amalgamação do Gondwana (Almeida et al., 2000; Cordani et al., 2003).

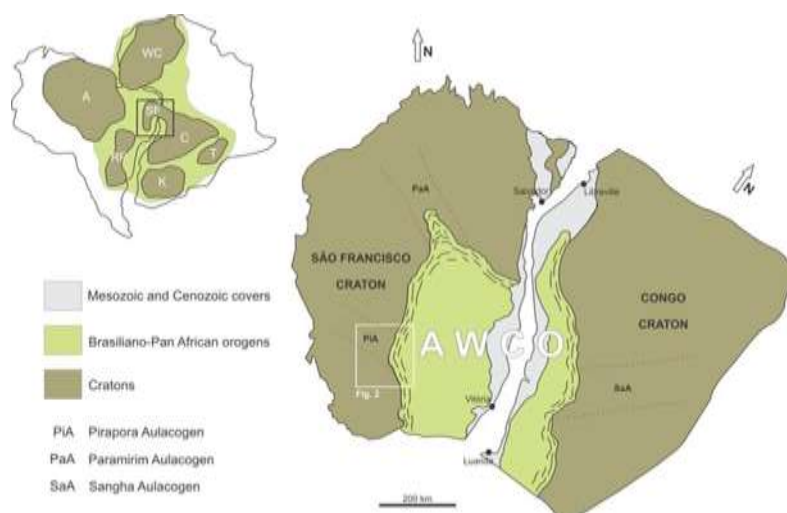
De forma análoga, a porção norte de Angola, situada na costa ocidental da África, pertence ao segmento sul do Cráton do Congo. Essa unidade geológica compartilha uma história evolutiva comparável à do Cráton do São Francisco, com registros que se estendem do Arqueano ao Fanerozoico, incluindo cinturões orogênicos e terrenos polimetamórficos (Tack et al., 2008; De Waele et al., 2008). As similaridades entre as bordas desses dois crátons — notadamente suas litologias predominantes, padrões estruturais e idades isotópicas compatíveis (U–Pb, Sm–Nd, Ar–Ar) — fornecem sustentação à hipótese de continuidade crustal entre o São Francisco e o Congo antes da abertura do Atlântico Sul (Kröner & Cordani, 2003; Armistead et al., 2021).

Modelos de reconstrução paleogeográfica baseados na justaposição das margens continentais leste do Brasil e oeste da África indicam que a porção norte do Cráton do São Francisco se encaixa perfeitamente com o segmento norte do Cráton do Congo. Essa configuração implica na existência de

uma feição geotectônica contínua, o Cráton São Francisco–Congo, associada ao cinturão orogênico Araçuai–Congo Ocidental, que registra os efeitos da colagem continental durante o Neoproterozoico (Cordani et al., 2003; Delaunay et al., 2019).

Estudos integrativos, como os de Linol et al. (2015) e de Wit et al. (2001), reforçam essa correlação ao identificar semelhanças entre as unidades estratigráficas, sistemas de fraturas e padrões de deformação entre a faixa costeira angolana e o norte da Bahia. Tais comparações são apoiadas por dados geofísicos, paleomagnéticos e geocronológicos que demonstram alinhamento temporal e tectônico entre os domínios em ambas as margens do Atlântico (Ganne et al., 2012), mostrados na Figura 1.

Figura 1: Cenário geotectônico do Cráton São Francisco-Congo e do Orógeno Araçuai Oeste Congo, mostrando as posições dos aulacógenos dentro dos crátons.



Fonte: Pedrosa-Soares et al. (2007).

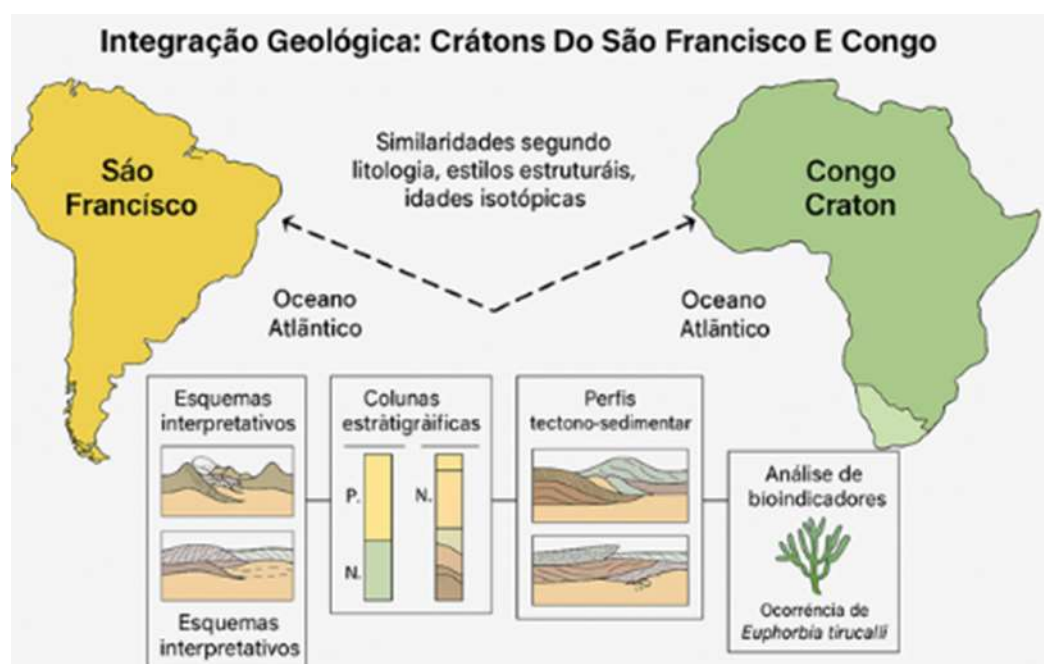
Além das evidências estruturais, a análise do registro estratigráfico revela fortes influências tectônicas nas duas regiões, evidenciadas por discordâncias angulares, estruturas compressivas e zonas de cisalhamento que condicionaram o desenvolvimento de bacias sedimentares compartimentadas (Martins-Neto, 2000). A presença de zircões arqueanos em granitóides tanto no Bloco Gavião (Bahia) quanto na costa de Angola reforça a ideia de que essas unidades integravam o mesmo domínio crustal no Paleoproterozoico (Delaunay et al., 2019; Konopásek et al., 2017). A correlação entre as colunas estratigráficas é reforçada pela ocorrência de unidades litológicas similares (como quartzitos, metapelitos, dolomitos e rochas vulcânicas ácidas), além de idades isotópicas coincidentes obtidas por métodos U-Pb em zircão e Sm-Nd em rochas metamórficas, que indicam fontes crustais semelhantes (Noce et al., 2000; Hein et al., 2004). A presença de discordâncias angulares e superfícies de erosão

regional também é compartilhada entre os dois crátons, sugerindo fases tectono-sedimentares equivalentes ao longo da margem de colisão Gondwânica (Trompette, 1994; Cordani et al., 2003).

A hipótese de conexão entre essas regiões é ainda corroborada por dados de bioindicadores. A espécie *Euphorbia tirucalli*, tradicionalmente considerada africana, ocorre tanto na faixa costeira de Angola quanto no noroeste da Bahia. Embora sua presença no Brasil tenha sido frequentemente interpretada como exótica, características anatômicas, metabólicas e ecológicas sugerem uma possível origem comum ou migração paleocontinental. Estudos como os de Mwine & Van Damme (2011) destacam a capacidade da *E. tirucalli* de ocupar ambientes semiáridos, com adaptações fisiológicas típicas de plantas CAM, como suculência, uso combinado das vias C3 e CAM, resistência à salinidade e produção de metabólitos secundários com variação em resposta a estímulos ambientais. Essas adaptações são compatíveis com ambientes paleoecológicos comuns em margens cratônicas tropicais durante o Neoproterozoico.

Nesse contexto, a presença dessa espécie nos dois lados do Atlântico pode ser interpretada como um marcador biogeográfico relevante, reforçando a hipótese de proximidade continental no passado. Essa abordagem tem sido discutida por autores como Varricchio et al. (2020), que propõem a utilização de *Euphorbia tirucalli* como bioindicador paleocontinental, associando sua distribuição a rotas migratórias e padrões de conectividade florística herdados da configuração de Gondwana (Figura 2).

Figura 2: Ilustração biogeográfica da interação entre os crátons e a presença da *Euphorbia tirucalli*.



Fonte: Os Autores.

A partir desse entendimento geológico e ecológico, novas investigações têm sido realizadas, como na região dos Lagos, no estado do Rio de Janeiro (Domínio Tectônico de Cabo Frio), para avaliar se indivíduos da mesma espécie apresentam semelhanças morfológicas e bioquímicas com os exemplares africanos. Esses estudos visam aprofundar o conhecimento sobre a dispersão da espécie e suas implicações para a biogeografia histórica do continente sul-americano conforme hipotetizado por Delaunay et al. (2019).

A análise comparativa entre os crátons do São Francisco (Brasil) e do Congo (África) fornece importantes evidências sobre sua possível continuidade crustal anterior à abertura do Oceano Atlântico. A tabela a seguir (Tabela 1) sintetiza os principais parâmetros geológicos, estruturais, estratigráficos, tectônicos, paleoclimáticos e biogeográficos desses dois crátons, evidenciando suas similaridades e a relevância dessas informações para modelos paleogeográficos do Gondwana Ocidental. A coluna de referências complementa o embasamento científico dos dados apresentados, reforçando a robustez da proposta de correlação cratônica.

Tabela 1: Integração Geológica: Crátons do São Francisco e do Congo.

Parâmetro	Cráton do São Francisco	Cráton do Congo	Similaridade/Relevância
Litologia Predominante	Gnaisses e granitóides arqueanos, greenstone belts (Bloco Gavião)	Gnaisses, granitos arqueanos e cinturões móveis proterozoicos	Presença de terrenos arqueanos e proterozoicos em ambos
Estilos Estruturais	Dobramentos, falhamentos e discordâncias de orientação NE-SW	Dobramentos e zonas de cisalhamento de orientação similar	Estruturas comparáveis em direção e tipo
Direção das Estruturas	Predominantemente NE-SW	Predominantemente NE-SW	Direções compatíveis sugerem continuidade tectônica
Geocronologia (U-Pb, Sm-Nd, Ar-Ar)	Zircões arqueanos e paleoproterozoicos; idades de 3,0 Ga (Arqueano) e 2,2–2,0 Ga (Paleoproterozoico)	Idades similares com eventos arqueanos (~3,0 Ga) e orogenias paleoproterozoicas (2,2–2,0 Ga)	Eventos geocronológicos equivalentes
Eventos Tectônicos	Orogênese Transamazônica (~2,1 Ga), colagens neoproterozoicas (Brasiliano)	Orogênese Eburneana (~2,1 Ga), Pan-Africana no Neoproterozoico	Cronologia e processos correlatos
Estratigrafia	Sequências vulcano-sedimentares arqueanas e proterozoicas	Coberturas sedimentares proterozoicas e fanerozoicas	Ambientes sedimentares e tectono-sedimentares comparáveis

Presença de CAM/E. tirucalli	Espécime presente no noroeste da Bahia; folhas caducas e caule fotossintético (CAM)	Espécime amplamente distribuído; caule com metabolismo CAM; adaptação a regiões áridas	Bioindicador morfológico e ecofisiológico comum
Implicação Paleogeográfica	Indícios de conexão com o Cráton do Congo durante o Paleoproterozoico–Neoproterozoico; fragmentação no Gondwana	Continuidade com o Cráton do São Francisco antes da abertura do Atlântico Sul	Apoio à hipótese de continuidade crustal e reconstrução de Gondwana

Fonte: Os Autores.

CONCLUSÃO

A ocorrência de *Euphorbia tirucalli* em ambas as margens do Atlântico Sul (noroeste da Bahia e costa de Angola), associada à semelhança morfoanatômica e à resiliência ecológica, permite considerá-la um possível indicador paleocontinental da fragmentação do supercontinente Gondwana. Essa hipótese ganha força ao ser integrada a dados geológicos, estratigráficos e geocronológicos, sugerindo uma continuidade paleocontinental entre os crátons do São Francisco e do Congo (Cordani et al., 2003; Kröner & Cordani, 2003; Armistead et al., 2021).

Sua ampla plasticidade adaptativa, refletida na presença de metabolismo CAM, suculência e produção diferenciada de metabólitos secundários, reforça seu potencial como bioindicador de paleoambientes e mudanças geológicas profundas ao longo do tempo geológico.

Devido a todo potencial biotecnológico encontrado para uma espécie complexa, para conhecermos o espécimen vegetal estudado e para entendermos os resultados de nossos ensaios biológicos e de cultivo, muito diferentes da literatura de pesquisadores clássicos, foi fundamental procedermos ao estudo geocronológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M., BRITO NEVES, B. B., & DAL RÉ CARNEIRO, C. (2000). The origin and evolution of the South American Platform. *Earth-Science Reviews*, 50(1-2), 77-111. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00072-0)
- ARAÚJO, A. G.; PEREVALOF, O. V.; JUKOV, R. A. (coord.). Carta Geológica de Angola. Instituto Nacional de Geologia. Escala 1:1.000.000, 1988.
- ARMISTEAD, S. E.; JOHNSON, P. R.; KUPER, K. Proterozoic basin evolution and tectonic geography of Madagascar: implications for an East Africa–Antarctica connection. *Tectonics*, v. 40, n. 2, p. e2020TC006567, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020TC006567>.
- BASTOS LEAL, L.R. (1998) Geocronologia U/Pb (Shrimp), 207Pb/206Pb, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos terrenos granito-greenstone do Bloco Gavião: Implicações para a evolução arqueana e paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 176p.
- BESNARD, G. et al. The role of Pleistocene climate change in shaping the distribution of *Euphorbia* species in Africa. *New Phytologist*, v. 183, n. 3, p. 578–589, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02932>.
- BETANCUR-GALVIS, LA; MORALES, GE; FORERO, JE; ROLDAN, J. Cytotoxic and antiviral activities of Colombian medicinal plant extracts of the *Euphorbia* genus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*; RJ, 97(4): 541 – 6, jun, 2002.
- BICCHI, C. HPLC-UV and HPLC-positive-ESI-MS Analysis of the diterpenoid fraction from *Caper Spurge* (*Euphorbia lathyris*) seed oil. *Phytochemical Analysis*, 12: 255 – 262, 2001.
- BONDO, Hortênsio Felisberto de Fátima. Manual de Apoio – Geologia de Angola. Universidade Agostinho Neto Departamento de Geologia. Luanda, 2008.
- BOSCH, C.A. VAN DEN. Is endemic Burkitt's lymphoma an alliance between three infections and a tumour promoter? *The Lancet Oncology*, UK, v. 5, p. 738 – 746, dec, 2004.
- BURKE, K.; DEWEY, J. F. Orogeny in Africa. In: *Tectonophysics*, v. 13, n. 1–4, p. 199–222, 1972. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(72\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0040-1951(72)90060-1)
- CHRISTOPHERSON, Robert W. Geossistemas – Uma introdução à geografia física. Tradução: Francisco Eliseu Aquino ... (et al.). Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 2012. Francisco Mendonça
- CORDANI, U. G., et al. (2003). Tectonic evolution of South America. In: *Geology of South America*.
- DAGANG, W.; SORG, B.; HECKER, E. Oligo- and Macrocyclic Diterpenes in Thymelaeaceae and Euphorbiaceae Occurring and Utilized in Yunnan (Southwest China). 6. Tiglane type diterpene esters from latex of *Euphorbia prolifera*. *Phytotherapy Research*, USA, v. 8, p. 95 – 99, 1994.
- DAÍ, C.C. Comparative studies on the fatty acids contained in four species of medicinal plants from family Euphorbiaceae and their endophytic fungi. Abstract. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*, China, v. 26, n. 9, p. 592 – 595, Sep., 2001.

DE GARA, L.; DE PINTO, M.C.; TOMMASI, F. The antioxidant systems vis-à-vis reactive oxygen species during plant-pathogen interaction. *Plant Physiology and Biochemistry*, USA, Elsevier SAS, v. 41, p. 863 – 870, 2003. DELAUNAY, N.; MUSMANNO, P.; SILVA, S. da; PYRRHO, A. dos S.; KUSTER, R.M.; VARRICCHIO, M.C.B.N.; CASTELO BRANCO, M.T.L. Euphorbia tirucalli como indicador paleo continental no noroeste da Bahia e faixa litorânea da Angola. GEOSUDESTE, UNICAMP. 2019.

DE WAELE, B., JOHNSON, S. P., & PISAREVSKY, S. A. (2008). Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the Congo Craton: A review. *Journal of African Earth Sciences*, 50(2–4), 103–128. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.09.012>

DELAUNAY, N.; MUSMANNO, P.; SILVA, S. da; PYRRHO, A. dos S.; KUSTER, R.M.; VARRICCHIO, M.C.B.N.; CASTELO BRANCO, M.T.L. Euphorbia tirucalli como indicador paleo continental no noroeste da Bahia e faixa litorânea da Angola. GEOSUDESTE, UNICAMP. 2019.

DE WIT, M. J.; ASHWAL, L. D.; TINKER, J. Neoproterozoic to Early Paleozoic evolution of the Congo craton. *Journal of African Earth Sciences*, v. 33, n. 3–4, p. 509–578, 2001. DOI: 10.1016/S0899-5362(01)00086-3.

DE WIT, M. J.; ASHWAL, L. D.; TACK, L. The formation and evolution of Africa: A synopsis of 3.8 Ga of Earth history. *Episodes*, v. 31, n. 3, p. 181–200, 2008.

DIMITRIJEVIC, S.M.; HUMER, U.; SHEHADEH, M.; JONATHAN RYVES, W.; HASSAN, N.M.; EVANS, F.J. Analysis and purification of phorbol esters using normal phase HPLC and photodiode-array detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. U.K., v. 15, p. 393 – 401, 1996.

ELHAAK, M. A.; MIGAHID, M. M.; WEGMANN, K. Ecophysiological studies on Euphorbia paralias under soil salinity and sea water spray treatments. *Journal of Arid Environments*, Academic Press Limited, v. 35, p. 459 – 471, 1997.

FAO, 1982. Management and utilization of mangroves in Asia and the Pacific. FAO Environment Paper No 3, Roma, 160p.

FEEMA, 1979. Os Manguezais do Recôncavo da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro, Série Técnica 10/79, Cadernos FEEMA, Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 113p. Figutti, L., 1993.

FERREIRA, Cristina Xavier. “A Bahia em busca de uma base de dados geográficos de uso comum.” in Salvador (Bahia): Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia - SEI, Bahia “Análise & Dados” (r), v. 10, n.2, Geoprocessamento, p.5- 10, setembro de 2000.

FURSTENBERGER, G. ; HECKER, E. On the active principles of the Euphorbiaceae, XII. Highly unsaturated irritant diterpene esters from Euphorbia tirucalli originating from Madagascar. *Journal of Natural Products*, Germany, may-jun, 49 (3): 386 – 397, 1986.

GIORDANI, R.; REGLI, P.; BUC, J.. (2002) Antifungal effect of Hevea brasiliensis latex with various fungi. Its synergistic action with amphotericin B against Candida albicans. *Mycoses*: v. 45, n. 11-12, p. 476 – 481. USA.

GANNE, J., et al. (2012). The Paleoproterozoic tectonic history of the Congo craton. *Precambrian Research*, 216–219, 180–197. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.07.004>.

GOLÇALVES, Antônio Olímpio. Geologia de Angola. Universidade Agostinho Neto, Departamento de Geologia. Luanda, 2012.

HUNTER, J.R. Reconsidering the functions of latex. *Trees*, USA, 9: 1-5, 1994.

ITO, Y.; KAWANISHI, M.; HARAYAMA, T.; TAKABAYASHI, S. Combined effect of the extracts from *Croton tiglium*, *Euphorbia lathyris* or *Euphorbia tirucalli* and n-butyrate on Epstein-Barr Virus expression in human lymphoblastoid P3HR-1 and Raji cells. *Cancer letters*, USA, v. 12, p. 175 – 180, 1981.

KONOPÁSEK, J., et al. (2017). Timing and origin of high-pressure granulites. *Precambrian Research*, 292, 151–169.

KRÖNER, A.; STERN, R. J. Pan-African Orogeny. In: *Encyclopedia of Geology*, Elsevier, 2004. p. 1–12. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00388-7>

KRÖNER, A., & CORDANI, U. G. (2003). African, southern Indian and South American cratons were not part of the Rodinia supercontinent. *Tectonophysics*, 375(1–4), 325–352. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.06.001>

LINOL, B., et al. (2015). The West Congo Belt: A unique record of Neoproterozoic passive margin sedimentation. *Gondwana Research*, 27(2), 873–885.

MARTINS-NETO, M. A. (2000). Tectonic control on the development of a late Paleoproterozoic foreland basin in eastern Brazil. *Precambrian Research*, 104(1–2), 91–118.

MARTIN, Louis; BITTENCOURT, Abílio C. da S.P.; FLEXOR, Jean Marie; BOAS, Geraldo S. Vilas. "Evidências de um tectonismo quaternário nas costas do Estado da Bahia." Rio de Janeiro (Rio de Janeiro): Sociedade Brasileira de Geologia - SBG, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984.

MCGARVEY, D.J. & CROTEAU, R. Terpenoid metabolism. *The Plant Cell*, v. 7, p. 1015 – 1026, july 1995.

MILANEZ, F.R. & MONTEIRO NETO, H. Origem dos laticíferos do embrião de *Euphorbia pulcherrima*, Willd. RJ: *Rodriguésia – Revista do Jardim Botânico*, p. 351 - 395, 1956.

MORLEY, R. J. Interplate dispersal paths for megathermal angiosperms. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, v. 6, n. 1–2, p. 5–20, 2003. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00039>

MWINE, J. T. & VAN DAMME, P. Why do Euphorbiaceae tick as medicinal plants? A review of Euphorbiaceae family and its medicinal features. *Journal of Medicinal Plants Research*. Vol. 5(5), pp. 652-662, 4 March, 2011. Available online at <http://www.academicjournals.org/JMPR>. ISSN 1996-0875 ©2011 Academic Journals.

PENNEL, R. I.; LAMB, C. Programmed Cell Death in Plants. *The Plant Cell*, American Society of Plant Physiologists, USA, v. 9, p. 1157 – 1168, july, 1997.

PEDROSA-SOARES, A. C., NOCE, C. M., ALKMIM, F. F., SILVA, L. C.,

BABINSKI, M., CORDANI, U., CASTAÑEDA, C. 2007. Orógeno

Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos* 15, 1–16.

SALAH-ZAYED, S. M. A. D., FARGHALY, SOLIMAN, S. M., GOTTA, H., SORG, B. HECKER, E. Dietary cancer risk conditional cancerogens in produce of livestock fed on species of spurge (Euphorbiaceae). V. Skin irritant and tumor-promoting diterpene ester toxins of the tiglane and ingenane type in the herbs Euphorbia nubica and Euphorbia helioscopia contaminating fodder of livestock. Journal of Cancer Research and Clinical Oncology, USA, v. 127, p. 40 – 47, 2001.

SANTA CLARA JR., P.; PEREIRA, C.; SALES, F.; GOMES, T.; VARRICCHIO, M.C.B.N.; KUSTER, R.M.; CASTELO BRANCO, M.T.L. Euphorbia tirucalli from Campus Ilha do Fundão/UFRJ and routes of apoptosis in vitro to Melan A and MCF7 Lineages. INFO_SAPB - Revista de Apoio ao Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ. 2017. V.1, n.1. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb?authuser=0#h.p_Ao3lwclpMYL6.

SCHMIDT, Renata et al. Proterozoic orogenic belts in Africa: A review and new geodynamic interpretation. Precambrian Research, v. 350, p. 105898, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105898>

SCHMIDT, Renata; VALETTE-SERPA, Isabelle; JULIANO, Marcio. Cratons and mobile belts of the African continent: relationships with South American counterparts. In: Gondwana Evolution and Dispersal. Springer, 2019. p. 203–232.

SCOTese, C. R. (2001). Atlas of Earth History. PALEOMAP Project.

TACK, L., et al. (2008). The Congo Craton: A nucleus for Gondwana assembling. Precambrian Research, 160(1–2), 23–46.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. Plant Physiology. USA: Sinauer Associates Inc. Publishers, 2002, 690 p.

TORSVIK, T. H. et al. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. Earth-Science Reviews, v. 96, n. 3–4, p. 123–144, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.05.004>

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M. & HARPER, J. L. 2010. Fundamentos em Ecologia. 3ed. Porto Alegre: Artmed.

TRINDADE, M. J. DE S. & LAMEIRA, O. A. Espécies úteis da família Euphorbiaceae no Brasil. Artigo de Revisão Revista da EMBRAPA. 2014. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130967/1/LameiraArtigo2014.pdf>

VARRICCHIO, M.C.B.N.; PEREIRA, C.; SALES, F.; GOMES, T.; VARRICCHIO, M. T.; MOREIRA, C. B.; DIREITO, I. C. N.; ARAÚJO, B. E.; PYRRHO, A.; HOLANDINO, C.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Avaliação qualitativa da produção de diterpenóides de Euphorbia tirucalli (Aveloz) sob condições controladas para fins medicinais”. REVISTA ANAIS FERTBIO/EMBRAPA CENTRO-OESTE, p. 20 - 24. MS, setembro 2006

VARRICCHIO, M.C.B.N.; NAGAMATSU, D. ; SILVA, S. DA ; HOLANDINO, C.; LAGE, C.L.S ; KUSTER, R.M. ; CASTELO BRANCO, M.T.L .Contribuição da análise química qualitativa por CLAE/UV de preparos do látex tóxico de Euphorbia tirucalli para a sensibilização em educação ambiental sobre o emprego e os riscos de extratos vegetais não padronizados. 2008. ARQUIVOS FOG – Saúde, Sociedade, Gestão, Meio Ambiente. RJ: ISSN 1808-8872.

VARRICCHIO, M. C. B..N.; SILVA, S. DA; BRIOSO, P.; LAGE, C. L. S.; KUSTER, R. M.; PYRRHO, A. DOS S.; CASTELO BRANCO, M. T. L. Bioprospecção de Euphorbia tirucalli do campus Ilha do Fundão/UFRJ. Área temática: Biotecnologia - Bioprospecção e Desenvolvimento de Bioprocessos e Bioprodutos. I Congresso de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia. 2019.

VARRICCHIO, M.C.B.N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; KUSTER, R. M.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; LAGE, C.L.S. Estudo ecofisiológico de _Euphorbia tirucalli_ (Aveloz), salinidade em micropropagação e marcadores de atividades em Biotecnologia Vegetal. 2020, V.4, n.2. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw

VARRICCHIO, M.C.B.N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; LAGE, C.L.S.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Estudo químico do solo de _Euphorbia tirucalli_ do jardim do IPPN/UFRJ Campus Ilha do Fundão com fins medicinais. 2020a, V.4, n.2. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw

VELA, JOÃO MARCELO. Vegetação da África. Dissertação. Mestrado pela UFSC. 2015.

WHELAN, L. C.; RYAN, M. F. Ethanolic extracts of Euphorbia and other ethnobotanical species as inhibitors of human tumour cell growth. Phytomedicine, USA, 10 (1):53 –8, Jan, 2003.

Capítulo 6



10.37423/250309834

GERMINAÇÃO DE VIGNA UNGUICULATA COM SOLUÇÕES ULTRADILUÍDAS E DINAMIZADAS: POTENCIAL APLICAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL

Sandra Avila Gaspar

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Naema Wasim

Universidade Estácio de Sá

Patricia Guimarães Musmanno

Faculdade de Medicina de Petrópolis

Isabela de Souza Ramos Silva

Faculdade de Medicina de Petrópolis

Gabriela Miranda Bellizzi Del Caro

Faculdade de Medicina de Petrópolis

Fábio de Almeida Bolognani

Conselho Regional de Medicina do Rio de Janeiro

Morgana Teixeira Lima Castelo Branco

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Alexandre dos Santos Pyrrho

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Simone da Silva

*Centro de Bionegócios da Amazônia ,
Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da
Amazônia*

Marcia Cristina Braga Nunes Varricchio

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Resumo: O presente estudo investigou o efeito do extrato etanólico total a 30% das partes aéreas de *Euphorbia tirucalli*, coletada em Seropédica/RJ, como agente elicitador na germinação de *Vigna unguiculata*. Além disso, foram avaliadas soluções ultradiluídas e dinamizadas (SUD), bem como seus respectivos controles. Para complementar a análise biológica, fatores abióticos também foram considerados. Os resultados indicaram que nenhum dos extratos testados favoreceu uma germinação de qualidade. Além disso, foi detectada a presença de ácido cianúrico nas soluções de cultivo, sugerindo um possível estresse oxidativo das sementes por vias relacionadas ao metabolismo do nitrogênio. Destacou-se uma resposta biológica significativa às soluções ultradiluídas e dinamizadas, sugerindo possíveis mecanismos de ação ainda a serem elucidados. Os achados também apontam para a influência das características ecogeoquímicas do ambiente de coleta da planta na composição química do extrato, contribuindo para a compreensão da farmacognosia da espécie. Em alinhamento com a literatura, os resultados obtidos sugerem novas investigações sobre o potencial alelopático de *E. tirucalli*, com possível aplicação como herbicida natural para o controle de ervas invasoras. Além disso, seu uso biotecnológico na mineralização do solo pode ser explorado, considerando sua capacidade potencial de degradar substâncias persistentes. Ensaios futuros serão conduzidos com cultivos específicos para aprofundar essas hipóteses e avaliar suas aplicações práticas.

Palavras-chave: Soluções ultradiluídas e dinamizadas, *Euphorbia tirucalli*, *Vigna unguiculata*, Germinação, Fatores Abióticos.

INTRODUÇÃO

Euphorbia tirucalli L. (Aveloz) é uma espécie suculenta originária da África, cuja existência remonta ao período de Pangea e ao supercontinente Gondwana (Valle, 1999). Com distribuição cosmopolita, a planta apresenta uma variedade de atividades biológicas, algumas das quais contraditórias. O látex da *E. tirucalli* é conhecido por sua toxicidade cardio, hepato e nefro, devido à presença de ésteres de forbol diterpênicos com esqueletos de tiglanos, ingenanos e dafnanos, substâncias responsáveis pelo estresse oxidativo (Furstenberger & Hecker, 1986; Datta et al., 1999). Além disso, o látex é capaz de transformar linhagens linfocíticas de maneira crônica, sendo classificado como contaminante ambiental do solo (Bosch van den, 2004). A intoxicação aguda pode levar à morte por interrupção da cadeia mitocondrial, com efeitos similares aos do cianeto, como foi observado em peixes expostos ao látex da planta na região da Cordilheira dos Andes, na Colômbia (Betancur-Galvis et al., 2002; 2003).

Por outro lado, a *E. tirucalli* tem sido utilizada há milênios por povos originários, datando de 8.000 a.C., principalmente em práticas etnomedicinais, devido às suas propriedades analgésicas, utilizadas no tratamento de dores intensas (Neiva, 1978; Whelan & Ryan, 2002; Lin et al., 2002; Lin et al., 2006). Diversos estudos in vitro têm confirmado suas ações farmacológicas, atribuídas principalmente aos compostos terpenoides presentes no látex (Evans & Soper, 1978; Betancur-Galvis et al., 2003). Além disso, sua atividade antioxidante e imunomoduladora está associada aos taninos hidrolisáveis e flavonoides encontrados no caule da planta (Lin et al., 2006).

Embora o gênero *Euphorbia* e a espécie *E. tirucalli* mantenham características químicas e biológicas comuns, fatores como as condições climáticas, do solo e as características geográficas e ecossistêmicas podem influenciar a produção química das plantas (Varricchio et al., 2020a; Gaspar et al., 2023). Poucos estudos in vivo abordam as diferenças nos efeitos biológicos de soluções horméticas (diluídas e não sucussionadas) em comparação com soluções obtidas por ultra diluição seguida de sucussão, conforme o método hahnemanniano clássico, especialmente em relação a plantas tóxicas como a *E. tirucalli* (Varricchio et al., 2006; Varricchio, 2007).

Este estudo visa analisar os efeitos biológicos do extrato etanólico total a 30% e da solução ultradiluída e dinamizada (SUD) de *E. tirucalli* coletada em Seropédica, Rio de Janeiro/BR, com o objetivo de comparar os efeitos horméticos e homeopáticos sobre a germinação de sementes de Feijão Caupi (*Vigna unguiculata*). A pesquisa busca discutir as evidências de estresse oxidativo gerado a partir da produção química da *E. tirucalli* de Seropédica sobre a germinação das sementes, com ênfase na análise de fatores abióticos (Varricchio, 2007).

Essa versão oferece maior clareza e fluidez, conectando melhor as informações com a proposta do estudo. Caso precise de mais ajustes, fique à vontade para me informar!

METODOLOGIA

Identificação botânica:

A identificação botânica da planta foi realizada por especialista, confirmando a espécie *Euphorbia tirucalli* L. (Aveloz).

COLETA:

A coleta da *E. tirucalli* foi realizada na manhã de inverno (entre 09:00h e 10:00h) no jardim da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em Seropédica, em 1997, por Sandra Ávila Gaspar (POZES et al., 1995). Após a coleta, a planta foi levada à Farmácia-Escola Professor José de Barros Silva, onde foi preparado o extrato etanólico total a 30% utilizando as partes aéreas da planta, especificamente o caule com látex. Além disso, preparou-se o controle hormético, na diluição solicitada (10-10 ou 5H). As Soluções Ultradiluídas e Dinamizadas (SUD) foram preparadas pelo método hahnemanniano de múltiplos frascos, na escala decimal (10D), juntamente com seus respectivos controles horméticos e ultradiluídos, sendo adquiridas para o desenvolvimento desta pesquisa sobre mecanismos potenciais para aplicação em biotecnologia vegetal (FHB, 1997).

CULTIVO:

Foram utilizadas 3 sementes de Feijão Caupi (*Vigna unguiculata*) por recipiente, em 80 mL de Água Mineral, em decuplicata (N=30), para cada fileira contendo soluções-controle e soluções-teste. O experimento foi conduzido com um total de 7 fileiras, perfazendo 210 sementes, conforme apresentado no Quadro 1. Para cada fileira, foi aplicada 1 gota de cada solução utilizando os contagotas dos frascos da Farmácia-Escola, com um total de 10 copos de 200 mL para cada tratamento.

A água mineral utilizada foi medida com pH 6,5. A temperatura ambiente foi registrada no primeiro (25°C) e no sétimo dia (20°C), assim como a temperatura dos copos de cada fileira, a fim de estabelecer uma média e investigar possíveis reações exotérmicas. Além disso, foi contado o número de hipocótilos emitidos, avaliando sua viabilidade (se destacáveis), tamanho e coloração. As sementes foram pesadas no primeiro dia de experimento, estabelecendo uma média inicial, e, no sétimo dia,

apenas o primeiro copo de cada fileira foi pesado, pois alguns grupos apresentaram alteração na consistência.

CULTIVO (DETALHADO):

Cada fileira foi composta por 30 sementes de Feijão Caupi em 20 mL de Água Mineral, em decuplicata, para cada solução-controle e para cada solução-teste. A cada copo foi aplicada 1 gota (20 µL) de cada solução, com os mesmos conta-gotas utilizados nos frascos de preparação.

No 70º dia de cultivo, foi realizada a verificação de pH, cloro livre, alcalinidade total e presença de ácido cianúrico nas soluções, utilizando o método colorimétrico de fitas da marca Aquachek.

Quadro1: Cultivos com extrato aquoso total de *E. tirucalli* oriunda de Seropédica/RJ, SUD de origem marinha e mineral, com respectivos controles.

Soluções/30 sementes para cada Cultivo
Água Mineral Petrópolis
SUD Água destilada 10D
SUD Álcool 30% 10D
SUD <i>Spongia tosta</i> 10D
SUD <i>Sulphur</i> 10D
SUD <i>Hekla lava</i> 10D
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H - Hormético)
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H) + SUD 10 D <i>Spongia tosta</i> + <i>Sulphur</i> + <i>Hekla Lava</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H) + SUD 10D <i>Spongia tosta</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H) + SUD 10D <i>Sulphur</i>
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H) + SUD 10D <i>Hekla Lava</i>

Fonte: Os Autores.

AValiação DE GERMINAÇÃO:

A avaliação do peso das sementes foi realizada no primeiro e no sétimo dia, e a variação ponderal dos grupos foi determinada pela subtração dos valores obtidos. Também foi contabilizado o número de emissões de hipocótilos, bem como aspectos qualitativos, como coloração, tamanho, destacamento da semente e espessura.

FATORES ABIÓTICOS:

No 70º dia de cultivo, foram realizadas medições comparativas com a temperatura do 10º dia de cultivo. Foram também avaliados o pH, a presença de cloro livre, a alcalinidade total e a presença de ácido cianúrico, utilizando o método colorimétrico com fitas da marca Aquachek.

ANÁLISE ESTATÍSTICA:

A análise estatística foi realizada utilizando o método ANOVA (2001) para comparar os resultados obtidos entre os diferentes tratamentos experimentais.

DESENVOLVIMENTO

Em relação à germinação das sementes de *Vigna unguiculata* (Feijão Caupi), a maioria das soluções testadas exerceu uma ação inibitória durante a primeira semana de observação. Sabe-se que as sementes de *V. unguiculata* podem levar de 4 a 10 dias para germinar, dependendo das condições edafoclimáticas às quais estão expostas. No entanto, durante o experimento, foi observado um ingurgitamento das sementes já no segundo dia de cultivo, com um aumento visível no tamanho e peso das sementes ($p < 0,05$), sugerindo uma resposta fisiológica imediata aos tratamentos aplicados.

Além disso, houve a liberação de um odor amoniacal intenso, especialmente nas fileiras tratadas com a dose ponderal de *E. tirucalli* 10-10, associada às soluções ultradiluídas de origem marinha (*Spongia tosta*), de origem mineral isolada (*Sulphur*) e de origem mineral composta (*Hekla Lava*). Esse fenômeno foi mais notável nas sementes que receberam essas combinações de soluções, indicando uma possível alteração no metabolismo das sementes, provavelmente relacionada ao estresse induzido pelos compostos presentes nas soluções.

Curiosamente, o odor amoniacal não se acentuou na fileira onde todos esses elementos foram reunidos em conjunto, sugerindo que a interação entre os diferentes componentes pode ter moderado a resposta das sementes, possivelmente atenuando o impacto negativo de cada solução isoladamente. Esse resultado levanta questões sobre a interação sinérgica ou antagonística entre os compostos de *E. tirucalli* e as soluções ultradiluídas, que merecem ser investigadas em estudos futuros.

Esses achados indicam que, embora as soluções testadas apresentem um efeito inibitório na germinação das sementes, elas também desencadeiam respostas fisiológicas complexas, que variam conforme a composição e a dosagem dos tratamentos aplicados. A observação do aumento de tamanho e peso das sementes, associada à liberação de compostos voláteis, sugere que os tratamentos podem ter induzido reações metabólicas intensas, com potenciais efeitos horméticos ou tóxicos, dependendo das concentrações utilizadas.

AValiação DE GERMINAÇÃO:

A média do peso das sementes foi avaliada no primeiro e no sétimo dia de cultivo, sendo realizada a subtração entre os dois momentos para avaliar a variação ponderal significativa dos grupos testados (Quadro 2). Além disso, foi contabilizado o número de emissões de hipocótilos, observando-se também aspectos qualitativos como coloração, tamanho, destacamento da semente e espessura.

Quadro 2: Nível de significância da variação de peso médio e do número de hipocótilos emitidas em cultivos com soluções-teste com soluções ultradiluídas, diluição ponderal de *Euphorbia tirucalli* de Seropédica, além de respectivos controles.

Soluções/30sementes	P1(g)	P2(g)	X = P2 – P1 (g)	Variação de peso (g) Significância	Número de hipocótilos	Significância
Água Mineral	0,62	1,00	0,38	-	20	Controle
Água Destilada 10D	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	02	Controle
Etanol 10D	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	12	Controle
Spongia tosta 10D (Sp 10D)	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	03	$p < 0,05$
Sulphur 10D (Su 10D)	0,62	2,00	1,38	$p < 0,05$	05	$p < 0,05$
Hekla Lava 10D (Hl 10D)	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	18	$p < 0,05$
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (5H)	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	14	$p < 0,05$
<i>E.t</i> 5H + Sp10D + Su10D + Hl 10D	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	03	$p < 0,05$
<i>E. tirucalli</i> 5H + Sp 10D	0,62	2,00	1,38	$p < 0,05$	05	$p < 0,05$
<i>E. tirucalli</i> 5H + Su 10D	0,62	2,00	1,38	$p < 0,05$	15	$p < 0,05$
<i>E. tirucalli</i> 5H + Hl 10D	0,62	1,00	0,38	$p > 0,05$	10	$p < 0,05$

Fonte: Os Autores. 11 cultivos em decuplicata (N=30 por fileira). (N = 330 sementes de feijão Caupi). 7º dia (P2) subtraindo ao 1º dia (P1), e contagem do número de emissões de hipocótilos.

O preparo da substância-teste com *E. tirucalli* 10-10 (diluição ponderal hormética, nomeada 5H) para cultivo foi feito utilizando água mineral. O extrato etanólico total a 30% de caule com látex de um indivíduo vegetal oriundo de Seropédica/RJ foi utilizado para avaliar sua influência na germinação de *Vigna unguiculata*.

Ao comparar com o controle com água mineral, o extrato etanólico total de *E. tirucalli* diluído a 10-10 (5H) não resultou em variação no peso médio das sementes. No entanto, o número de hipocótilos emitido foi significativamente inferior ao do controle ($p < 0,05$), com as sementes apresentando descoloração e variação de tamanho (0,5 - 1,0 cm) e espessura (0,5 mm), além de se destacarem e boiarem na solução-teste.

O cultivo com solução ultradiluída de *Spongia tosta* 10D não causou variação no peso médio das sementes, mas inibiu a emissão de hipocótilos, um efeito semelhante ao observado com a água destilada ultradiluída. Esse efeito foi distinto do observado com a solução ultradiluída 10D de etanol 30%, que apresentou menor inibição. Por outro lado, quando a água mineral foi utilizada como solvente para a diluição, observou-se uma inibição significativa e extrema ($p < 0,001$) em comparação com o controle.

O cultivo com *Sulphur* ultradiluído (SUD 10D) resultou em um aumento significativo no peso médio das sementes ($p < 0,001$) em relação aos três controles. No entanto, também foi inibitório quanto à emissão de hipocótilos, similar ao efeito da SUD 10D de água destilada.

Quando se utilizou a solução ultradiluída de *Hekla Lava* 10D, não houve variação no peso médio das sementes, mas observou-se um aumento significativo na emissão de hipocótilos quando comparado ao controle com SUD de etanol 30%. A solução de *Hekla Lava* seguiu um padrão próprio significativo e distinto do efeito observado com a SUD de água destilada.

O cultivo com o extrato etanólico total de *E. tirucalli* diluído a 10-10 (5H) com a SUD 10D de *Spongia tosta* foi capaz de induzir um aumento significativo no peso das cotilédoneas ($p < 0,001$), além de inibir significativamente a emissão de hipocótilos ($p < 0,05$). Esse aumento no peso foi acompanhado de um crescimento maior em comparação ao cultivo com SUD 10D de *Spongia tosta* isoladamente, o que pode estar relacionado ao balanço osmótico das sementes de *V. unguiculata*, como já descrito na literatura (Lima Araújo et al., 2012).

No caso do cultivo com o extrato etanólico total de *E. tirucalli* e SUD 10D de *Sulphur*, foi possível observar um aumento significativo no peso das sementes ($p < 0,001$), além de uma recuperação significativa na emissão de hipocótilos ($p < 0,05$). Esses efeitos podem estar associados à via do enxofre e ao estresse oxidativo fisiológico durante a germinação das sementes, como descrito em estudos anteriores (Lima Araújo et al., 2012).

Por fim, o cultivo com o extrato etanólico total de *E. tirucalli* diluído a 10-10 (5H) e SUD 10D de *Hekla Lava* não apresentou variação significativa no peso das sementes, mas foi capaz de recuperar a emissão de hipocótilos, sugerindo um possível efeito sinérgico entre os compostos presentes na lava vulcânica e os ativos do extrato de *E. tirucalli*.

Em geral, observou-se que, embora as soluções-teste não tenham levado a um aumento geral no peso das sementes, a combinação de certos extratos e soluções ultradiluídas teve efeitos variados, indicando possíveis interações que precisam ser mais aprofundadas em estudos futuros.

FATORES ABIÓTICOS NOS CULTIVOS DE *VIGNA UNGUICULATA* COM EXTRATOS HORMÉTICOS DE *E. TIRUCALLI* E SOLUÇÕES ULTRADILUÍDAS (SUD):

VARIAÇÃO DE TEMPERATURA:

Ao comparar os controles, observa-se que a diferença de temperatura para a água mineral utilizada no cultivo e para o álcool 30% utilizado no preparo dos extratos foi praticamente a mesma (Quadro 3). No entanto, a utilização de água destilada apresentou uma variação de temperatura mais intensa. Pequenas oscilações térmicas durante o cultivo podem inibir a germinação das sementes, tornando esse fator relevante para análises futuras.

Ao final do experimento, a diferença média de variação de temperatura foi de aproximadamente 0,5°C para o extrato ponderal hormético. Para o extrato hormético associado à SUD, essa diferença aumentou para cerca de 1°C, enquanto as SUD isoladas apresentaram uma variação superior a 1°C. Quando todas as SUD foram combinadas ao extrato hormético, a perda de temperatura foi similar à dos controles de preparo e cultivo, indicando pouco ou nenhum incremento metabólico. Essa associação pode ter sido inibitória para os parâmetros de emissão de hipocótilos e peso, fato evidenciado pela necrose observada nas sementes, sugerindo um intenso estresse oxidativo provocado pelo preparo.

A solução SUD 10D de *Spongia tosta* apresentou uma redução significativa de temperatura ao final do experimento, alinhando-se ao comportamento do controle de SUD com água destilada. Esse resultado sugere uma relação com o balanço osmótico. Quando associada ao extrato hormético de *E. tirucalli*, essa solução tendeu a uma menor perda de temperatura.

Por outro lado, a SUD 10D de *Sulphur* apresentou tendência à perda de temperatura da solução isoladamente, mas, quando combinada ao extrato hormético, a temperatura aumentou. Esses efeitos podem estar relacionados ao incremento metabólico nas sementes de *V. unguiculata*.

A SUD 10D de *Hekla lava* apresentou a maior diferença de temperatura entre o primeiro e o sétimo dia de experimento, comportamento semelhante ao do seu controle com água destilada. No entanto, essa solução diferiu em cerca de 2°C do seu controle de preparo (SUD 10D de etanol 30%) e do controle

do solvente para cultivo (água mineral). Um achado importante foi que, quando associada ao extrato hormético, a diferença de temperatura diminuiu consideravelmente, tornando-se semelhante ao controle de SUD 10D de etanol 30% e ao controle de solvente de cultivo.

Portanto, a perda de temperatura ao longo da semana, observada nos testes com efeitos biológicos positivos, sugere uma intensa atividade metabólica das sementes de feijão-caupi. Para elucidar melhor essa dinâmica, ensaios futuros devem incluir novos pontos de medição ao longo da curva de temperatura, permitindo determinar com maior precisão em que momento e a quantos graus essa variação favorece a germinação de *Vigna unguiculata*.

Quadro 3: Índice de variação de temperatura em cultivos com soluções-teste com soluções ultradiluídas, diluição ponderal de *Euphorbia tirucalli* de Seropédica, além de respectivos controles.

Soluções/30sementes por Cultivo	TAmb1 °C	T1°C	XT 1	TAmb2 °C	T2°C	XT 2	XT2 – XT1
Água Mineral	25	25	25,0	20	5/20;1/18;4/19	19,4	- 5,6
Água destilada 10D	25	25	25,0	20	4/18;6/17	17,4	- 7,6
Álcool 30% 10D	25	24	24,5	20	5/18;5/20	19,0	- 5,5
Spongia tosta 10D	25	24	24,5	20	6/17;4/18	17,4	- 7,1
Sulphur 10D	25	24	24,5	20	2/17;8/18	17,8	- 6,7
Hekla lava 10D	25	24	24,5	20	2/16;5/17;3/18	17,1	- 7,4
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H)	25	24	24,5	20	1/17;5/19;4/18	18,4	- 6,1
<i>E.t</i> 5H+Sp10D + Su10D + H110D	25	23	24,0	20	1/16;3/17;6/18	17,5	- 6,5
<i>E.t</i> 5H + Spongia tosta 10D	25	24	24,5	20	1/17;9/18	17,9	- 6,6
<i>E.t</i> 5H + Sulphur 10D	25	23	24,0	20	17	17,0	- 7,0
<i>E.t</i> 5H + Hekla lava 10D	25	22	23,5	20	4/17;6/18	17,6	- 5,9

Fonte: Os Autores. 11 cultivos em decuplicata (N=30 por fileira). (N = 330 sementes de feijão Caupi). Temperatura para o primeiro dia (T1) e para o sétimo dia (T2). Além de respectivas temperaturas ambientes

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE PH, DE CLORO LIVRE, DA ALCALINIDADE TOTAL E DA PRESENÇA DE ÁCIDO CIANÚRICO:

Avaliou-se o pH das SUD controles no primeiro e no sétimo dia, cuja média foi XpH 7,1. Em seguida, verificou-se o pH da água mineral da marca Petrópolis, que apresentou pH 6,5. A média final do pH do

experimento cultivado apenas com água mineral foi XpH 6,9, enquanto a maioria dos testes manteve-se em XpH 7,1.

Contudo, quando todas as SUD foram associadas ao extrato aquoso total 30%, variações foram percebidas. O XpH manteve-se em 7,1 às custas de uma alcalinidade total elevada, possivelmente devido à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, geralmente associados a metais alcalinos ou alcalino-terrosos, como sódio, potássio, cálcio e magnésio. Além disso, houve ausência de ácido cianúrico na solução-teste.

O ácido cianúrico é resultante da lise da ureia e do ácido úrico, o que aponta para um metabolismo proteico associado ao estresse oxidativo pela via do nitrogênio. De fato, não houve ganho de biomassa nem emissão significativa de hipocótilos, sugerindo inibição desse metabolismo. Essa observação remete a tempos primitivos, quando os gases predominantes eram enxofre e nitrogênio e a vida se restringia ao ambiente marinho, evocando diferentes vias metabólicas utilizadas por microrganismos, animais primitivos e vegetais para sobreviverem em condições adversas. Novos ensaios serão conduzidos para aprofundar o estudo dessas rotas metabólicas, contribuindo para a compreensão dos mecanismos que relacionam estruturas químicas às atividades biológicas sob um contexto geoquímico.

Um fato interessante foi que, enquanto o cultivo com SUD 10D de *Spongia tosta* (um elemento de origem marinha) não detectou ácido cianúrico, possivelmente por ser inibitório à sinalização para a germinação (com pouca emissão de hipocótilos em relação ao controle), o cultivo com SUD 10D de *Spongia tosta* associada ao extrato etanólico de *E. tirucalli* 10-10 apresentou um XpH de 6,9. Essa pequena variação de pH para valores mais baixos pode ter sido suficiente para inibir a germinação das sementes de feijão-caupi, conforme observado. Além disso, aponta para uma possível participação da solução no equilíbrio osmótico (sódio/cloro), explicando o ingurgitamento dos cotilédones. Cloro não foi detectado.

Nos cultivos com SUD de minerais (*Sulphur* 10D e *Hekla lava* 10D) associadas ao extrato etanólico de *E. tirucalli* 10-10, houve elevação da média do pH. A SUD 10D *Sulphur* atingiu um XpH de 7,7, apresentando alta alcalinidade total e baixa taxa de ácido cianúrico. No entanto, verificou-se ganho de peso e emissão significativa de hipocótilos. Esses resultados indicam um possível papel protetor da combinação dessas soluções, provavelmente por meio da ativação da via da superóxido dismutase (SOD), onde o enxofre pode atuar como elemento-chave na resposta ao estresse oxidativo fisiológico,

favorecendo a adaptação metabólica e reduzindo a toxicidade. Ensaios específicos serão conduzidos para explorar essa via.

A SUD 10D de *Hekla lava* associada ao extrato etanólico de *E. tirucalli* 10-10 apresentou um XpH de 7,4, demonstrando elevação do pH após uma semana de reações químicas durante o cultivo. Inicialmente, os valores acompanhavam os observados para o cultivo isolado com SUD 10D de *Hekla lava* (XpH 7,1), bem como para o cultivo com o extrato aquoso de *E. tirucalli* 10-10 (XpH 7,1), mas posteriormente os ultrapassaram, resultando na recuperação do número de emissões de hipocótilos.

Essa observação sugere a possível relevância dos minerais presentes na SUD derivada da lava do vulcão *Hekla* na fixação do nitrogênio, produzindo efeitos biológicos semelhantes aos do extrato aquoso total de *E. tirucalli* aplicado isoladamente às sementes em solução durante o cultivo. Entretanto, os resultados foram distintos e promissores, pois, em relação à emissão de radículas, a combinação exerceu um efeito recuperador estatisticamente significativo ($p < 0,05$). Esse efeito contrastou com os resultados obtidos no cultivo com a associação do extrato etanólico total de *E. tirucalli* com as três SUD reunidas, que se revelou intensamente inibitório.

Quadro 4: Média aritmética (XpH) da variação de pH. Valores de cloro livre, da alcalinidade total e da presença de ácido cianúrico em cultivos com soluções ultradiluídas, diluição ponderal de *Euphorbia tirucalli* de Seropédica, além de respectivos controles.

Soluções/30 sementes para cada cultivo	pH 1	pH 2	XpH	cloro livre	alcalinidade total	ácido cianúrico
Água Mineral do preparo das soluções	6.5	-	6.5	-	-	-
Água Mineral	7.0	6.8	6.9	zero	180	zero
Água destilada 10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	30-50
Etanol 30% 10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	zero
Spongia tosta 10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	zero
Sulphur 10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	30-50
Hekla lava 10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	30-50
<i>Euphorbia tirucalli</i> 10 ⁻¹⁰ (ou 5H)	7.0	7.2	7.1	zero	180	30-50
<i>E.t</i> 5H+Sp10D + Su10D + Hl10D	7.0	7.2	7.1	zero	180	zero
<i>E.t</i> 5H + Spongia tosta 10D	7.0	6.8	6.9	zero	180	30-50
<i>E.t</i> 5H + Sulphur 10D	7.0	8.4	7.7	zero	180	30-50
<i>E.t</i> 5H + Hekla lava 10D	7.0	7.8	7.4	zero	180	30-50

Fonte: Os Autores. 11 cultivos em decuplicata (N=30 por fileira). (N = 330 sementes de feijão Caupi).

pH 10 dia (pH1) e ao 70 dia (pH2).

No presente experimento, foi observada uma redução no comprimento dos hipocótilos para todas as soluções testadas. As plântulas apresentaram-se frágeis, finas, algumas descoloridas e todas

destacadas dos cotilédones. Essa condição pode estar relacionada ao balanço entre cloro e sódio, que pode ter sido comprometido. Para a germinação das sementes, é essencial a presença de um potencial hídrico adequado, pois o desequilíbrio desses íons pode interferir diretamente na captação de água, dificultando a embebição e, conseqüentemente, a expansão celular e o desenvolvimento radicular (Lopes, 2008 apud Lima Araújo et al., 2012).

A realização de estudos voltados para a investigação do potencial hídrico do solo é fundamental, uma vez que a sensibilidade das plantas a meios salinos varia conforme a espécie (Viana, 2004 apud Lima Araújo et al., 2012). Isso foi verificado no feijão-caupi do Acre, cujo potencial osmótico ideal para germinação e desenvolvimento de plântulas da variedade manteiguinha (*Vigna unguiculata* (L.) Walp var. manteiguinha) é relativamente baixo. Mesmo sendo uma espécie que ocorre em várzeas, potenciais osmóticos superiores a -1,0 MPa são inibitórios para sua germinação, que normalmente ocorre entre três e quatro dias (Lima Araújo et al., 2012).

Assim, a ausência de germinação em meios com maior concentração salina a partir da SUD de *Spongia tosta* pode ter sido causada pelo excesso de íons cloro (Cl^-) e sódio (Na^+). Esses íons são capazes de provocar intumescência protoplasmática, afetando a eficiência da atividade enzimática e desencadeando distúrbios na assimilação de nitrogênio e na produção de energia, devido a interferências na cadeia respiratória (Mortele, 2006; Lopes, 2008 apud Lima Araújo et al., 2012).

Os resultados obtidos são similares às observações de Lima Araújo et al. (2012), que relataram que a diminuição do potencial osmótico está associada à redução do comprimento da radícula e do hipocótilo. Isso ocorre devido à dificuldade das sementes e plântulas em absorver água de um meio com baixo potencial osmótico, impactando a germinação e o desenvolvimento radicular. Esse efeito foi registrado em todas as leituras realizadas por esses pesquisadores, até o consumo completo das reservas presentes nos cotilédones pelas plântulas. Além disso, um solo pode apresentar baixo potencial hídrico em razão do excesso de adubação, períodos de seca ou salinidade elevada, resultando em baixa taxa de germinação e conseqüente redução do estande e da população de plantas por hectare.

Sabe-se que quanto maior a concentração de ácido cianúrico na água, mais estável será seu pH e seu efeito bactericida. Nos controles cultivados com água mineral e álcool a 30%, não foi detectada a presença de ácido cianúrico. No controle com água destilada, foi identificada apenas a fração mínima dos valores de detecção (30-50 ppm, conforme recomendado por autores). O ácido cianúrico também

foi detectado em todas as soluções ponderais e ultradiluições, exceto no cultivo do extrato etanólico total associado às três SUD.

A quantidade de substâncias presentes na água para atuarem como sistema tampão sugere que as soluções necessitavam da liberação de um agente químico capaz de estabilizar o pH. O controle indica a ausência da necessidade de alcalinização. O valor de 180 ppm foi o quarto em uma escala de cinco na avaliação colorimétrica. Extratos de *Euphorbia tirucalli* costumam ser ácidos devido aos componentes químicos presentes no látex. Esses resultados indicam que as sementes de feijão possivelmente liberaram elementos químicos para tamponamento das soluções, permitindo sua sobrevivência.

No ensaio, observou-se uma alcalinidade total elevada (180 ppm), com a média do pH das soluções testadas em torno de 7,1. Vale ressaltar que os controles de preparo da solução (álcool a 30%) e de solvente para o ensaio (água mineral) não induziram a produção de ácido cianúrico, diferentemente do controle com água destilada, onde o ácido foi detectado. Além disso, todas as soluções-teste de SUD apresentaram detecção de ácido cianúrico, possivelmente devido à participação da água destilada em sua composição. Qual terá sido o mecanismo responsável pela correção do pH?

Portanto, ainda que em pequena quantidade, a presença de ácido cianúrico neste experimento pode ser considerada um possível indicador de estresse oxidativo ocorrido pela via do nitrogênio, necessitando de investigações adicionais. O ácido cianúrico é amplamente utilizado como precursor ou componente de poliuretanos e poliésteres (RQI, 1975), além de ser empregado em alvejantes, desinfetantes e herbicidas.

DISCUSSÃO

Em Biotecnologia Vegetal, o ácido cianúrico pode estar relacionado à biorremediação de solos contaminados, especialmente pela atrazina. A persistência desse herbicida no ambiente e seus efeitos toxicológicos têm impulsionado pesquisas para desenvolver estratégias eficientes de degradação. Microrganismos não patogênicos foram identificados como capazes de degradar a atrazina, que atua inibindo a fotossíntese ao bloquear o transporte eletrônico no fotossistema II. As plantas sensíveis sofrem clorose e posterior necrose tecidual (Prade et al., 1998 In Ellis et al., 2003).

A mineralização completa da atrazina, convertendo-a em CO₂ e NH₃, é um processo desejável para a remediação de solos impactados. Algumas bactérias utilizam a atrazina como fonte de nitrogênio, liberando carbono como CO₂ (Mandelbaum et al., 1995). A base de dados de biodegradação de

poluentes ambientais inclui informações sobre essas vias de degradação (Ellis et al., 2003). A estirpe *Pseudomonas* sp. ADP é referência na mineralização desse herbicida, convertendo-o em ácido cianúrico e subsequente amônia.

A eficiência da mineralização da atrazina no solo diminui em concentrações elevadas do herbicida. Em condições naturais, a fase de adaptação microbiana pode ser prolongada, favorecendo a lixiviação do poluente para outras partes do ecossistema, aumentando o risco de contaminação de águas subterrâneas e superficiais. Fatores como temperatura baixa e ausência de microrganismos degradadores limitam a mineralização no subsolo (Radosevich et al., 1996).

Os extratos de *Euphorbia tirucalli* associados às soluções estudadas induziram, ainda que em pequena quantidade, a produção de ácido cianúrico durante o metabolismo de *Vigna unguiculata*, provavelmente devido ao estresse oxidativo relacionado à rota do nitrogênio. Durante o experimento, foi observada a liberação de amônia, confirmada pelo forte odor exalado. O aumento da temperatura das soluções-testes indicou reações químicas intensas durante a germinação, sugerindo um estresse oxidativo excessivo mesmo em baixas dosagens.

Os ésteres diterpênicos de *E. tirucalli* estão frequentemente associados ao estresse oxidativo via ferro e oxigênio singlete, mas poucos estudos abordam sua relação com a rota do nitrogênio. Essas substâncias, ativas em nanomolaridade, promovem danos oxidativos graves por meio da superóxido dismutase (SOD) e da ativação da isoforma PKC- α (Datta et al., 1999). Enquanto a cauda do fitol, terpenoide presente no caule, compete para se ligar aos locais hidrofóbicos da PKC, atuando como primeiro sinalizador da membrana celular.

Embora *E. tirucalli* seja considerada contaminante ambiental, o mecanismo exato de sua interação com o solo não está completamente elucidado. Diterpenos hidroxilados podem ser removidos por lixiviação, enquanto os esterificados e aromáticos persistem em camadas mais profundas, podendo estimular a mineralização ou o crescimento de microrganismos envolvidos na degradação química, favorecendo a biorremediação.

Os testes de germinação com *E. tirucalli* e diferentes soluções minerais e marinhas não foram eficazes para o cultivo convencional. No entanto, os resultados indicam um potencial para outras aplicações biotecnológicas, como herbicidas naturais e agentes mineralizadores bioremediadores. Destaca-se a necessidade de investigar a participação dos extratos na fixação de nitrogênio e no metabolismo nitrogenado em plantas.

A composição pedológica do solo onde *E. tirucalli* foi coletada, em Seropédica, também levanta questões relevantes. Essa região, parte do Cráton de Guanabara, possui histórico vulcânico e apresenta argissolos derivados da atividade geológica. A presença de minerais vulcânicos pode influenciar a composição química do solo e a interação com os extratos vegetais, um aspecto a ser explorado em estudos futuros.

Fatos curiosos emergiram durante os experimentos. O extrato etanólico de *E. tirucalli* atraiu abelhas *Apis mellifera* e abelhas-mirins, sugerindo um possível efeito semelhante ao néctar. Entretanto, uma abelha-cachorro (*Trigona spinipes*) morreu ao ingerir a solução com SUD de lava vulcânica, sugerindo possível toxicidade aguda. Estudos indicam que abelhas possuem poucas enzimas desintoxicantes, tornando-as vulneráveis a compostos tóxicos (Pires et al., 2016). Esse fenômeno reforça a necessidade de investigação sobre os efeitos dos extratos de *E. tirucalli* na polinização e ecologia das abelhas.

Os resultados obtidos indicam que os extratos vegetais testados possuem potenciais biotecnológicos distintos dos inicialmente esperados. Estudos adicionais são necessários para compreender os mecanismos envolvidos e explorar as possíveis aplicações na agricultura, biorremediação e interações ecológicas.

CONCLUSÃO

O extrato etanólico total a 30% das partes aéreas de *Euphorbia tirucalli*, coletada em Seropédica/RJ, foi avaliado como agente elicitor na germinação de *Vigna unguiculata*, juntamente com soluções ultradiluídas e respectivos controles. Além do efeito sobre a germinação, também foram analisados fatores abióticos que poderiam influenciar o processo.

Os resultados indicaram que nenhum dos extratos testados favoreceu uma germinação de qualidade. Em todas as soluções-teste, foi detectada a presença de ácido cianúrico, um subproduto da decomposição da ureia e do ácido úrico, o que sugere um possível estresse oxidativo das sementes, possivelmente mediado por vias relacionadas ao metabolismo do nitrogênio. Essa hipótese é reforçada pelo forte odor amoniacal observado nos recipientes contendo as soluções experimentais.

Além disso, os dados evidenciaram uma resposta biológica às soluções ultradiluídas e dinamizadas, levantando questões sobre seus possíveis mecanismos de ação. Também se destacou a influência das características ecogeoquímicas do ambiente de coleta da planta na composição química do extrato, o que pode contribuir para a compreensão de suas propriedades farmacognósticas.

Em consonância com a literatura, os achados deste estudo sugerem novos caminhos de pesquisa, incluindo a investigação do potencial alelopático de *E. tirucalli* e sua possível aplicação como herbicida natural para o controle de ervas invasoras. Além disso, considerando sua capacidade potencial de degradar substâncias persistentes no solo, futuros estudos poderão explorar seu uso biotecnológico na mineralização e remediação ambiental.

Com a seleção de cultivos específicos, novos ensaios serão conduzidos para validar e aprofundar esses resultados, ampliando o entendimento sobre os efeitos do extrato e suas aplicações potenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVEY, S. & CROWLEY, D.E. Influence of organic amendments on biodegradation of atrazine as a nitrogen source. *J. Environ. Qual.*, 24; 1156–1162. 1995.
- APOLINÁRIO, J.C.G., VARRICCHIO, M.C.B.N., CARILLO, R.JR. & PINTO, L.F. Abordagem fisiopatológica da constituição homeopática sulfúrica equilibrada no adulto. Rio de Janeiro: Homeopatia Brasileira. V.6, n.2, p. 93 - 97. 2000.
- ASSOCIAÇÃO HOMEOPÁTICA BRASILEIRA. Manual de normas técnicas para farmácia homeopática: ampliação dos aspectos técnicos e práticos das preparações homeopáticas. 3.ed. Curitiba, 2003. 190p.
- BELLAVITE, P. & SIGNORINI, R. The similia principle: from cellular models to regulation of homeostasis. *British Homoeopathic Journal*, v.86, p. 73-85, april, 1997.
- BETANCUR-GALVIS, L.A.; MORALES, G. E; FORERO, J. E; ROLDAN, J. Cytotoxic and antiviral activities of Colombian medicinal plant extracts of the *Euphorbia* genus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*; RJ, 97(4): 541 – 6, jun, 2002.
- BETANCUR-GALVIS, L.; PALOMARES, E.; MARCO, J.A.; ESTORNELL, E. Tiglane diterpenes from the latex of *Euphorbia obtusifolia* with inhibitory activity on the mammalian mitochondrial respiratory chain. *Journal of Ethnopharmacology*, USA, 85 (2-3): 279 – 282, Apr. 2003.
- BIRADAR, B.D.; GOUD, J.V.; PATIL, S.S. Components of variance, heritability and genetic gain in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Annals of Agricultural Research*, v.14, p.434-437, 1993.
- BOTELHO, A. A. A.; MONTEIRO, A.C. Sensibilidade de fungos entomopatogênicos a agroquímicos usados no manejo da cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 2, p.361-369, 2011.
- BOSCH, C. A. van den. Is endemic Burkitt's lymphoma an alliance between three infections and a tumor promoter? *The Lancet Oncology* 5: 738 – 746. 2004.
- BRITO, A.R.S.; THOMAS, G. Propriedades antiinflamatórias do extrato aquoso de *Euphorbia tirucalli*. *Ciência e Cultura*, SP, 33: 87 – 90, 1980.
- CARTER, C. A. Protein Kinase C as a drug target: Implications for drug or diet prevention and treatment of cancer. *Current Drug Targets*, USA, 1: 163-183, 2000.
- DAGANG, WU; SORG, B.; HECKER, E. Oligo- and Macrocyclic Diterpenes in Thymelaeaceae and Euphorbiaceae Occurring and Utilized in Yunnan (Southwest China). 6. Tiglane type diterpene esters from latex of *Euphorbia prolifera*. *Phytotherapy Research*, USA, 8: 95 – 99, 1994.
- DATTA, R.; YOSHINAGA, K.; KANEKI, M.; PANDEY, P.; KUFÉ, D. Phorbol Ester- induced Generation of Reactive Oxygen Species Is Protein Kinase C- dependent and Required for SAPK Activation. *The Journal of Biological Chemistry*, USA, 275: 41000-41003, 1999.
- DRÖGE, W. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiology Review of American Physiological Society*, Germany, 82: 47 – 96, 2002.

EL-MEKKAWY, S.; MESELHY, M. R.; ABDEL-HAFEZ, A. A-M.; NAKAMURA, N.; HATTORI, M.; KAWAHATA, T.; OTAKE, T. Inhibition of cytopathic effect of Human Immunodeficiency Virus Type-1 by various phorbol derivatives. *Chemical Pharmacological Bulletin, Japan*, 50 (4): 523 – 529, 2002.

ELLIS et al., 2003. Biodegradation. The University of Minesota Biocatalysis/Biodegradation Database” <http://umbbd.ahc.umn.edu/>;

EVANS, F.J. SOPER, C. J. The tiglane, daphnane and ingenane diterpenes, their chemistry, distribution and biological activities. A review. *The Journal of Natural Products*, 41: 1- 6. 1978.

FARMACOPÉIA HOMEOPÁTICA BRASILEIRA. Segunda Edição, Parte I, Métodos Gerais, Atheneu Editora São Paulo LTDA, 1997.

FURSTENBERGER, G.; HECKER, E. 1986. On the active principles of the Euphorbiaceae, XII. Highly unsaturated irritant diterpene esters from *Euphorbia tirucalli* originating from Madagascar. *Journal of Natural Products*, 49 (3): 386 – 397.

GASPAR, S.A.; RONCARATI, E.; BELLIZZI, G.M.; MUSMANNO, P.G.; RAMOS DA SILVA, I. DE S.; VARRICCHIO, M.T.; NIGRI, A.; PYRRHO, A. DOS S.; DA SILVA, S.; VARRICCHIO, M.C.B.N. *EUPHORBIA tirucalli*: Atividade biológica e Geografia - Prospecção de Marcadores Ecofisiológicos para Investigações Virtuais e in Situ. SEIVA Volume 7-1 - Mai-2023. Link

KHUDA-BUKHSH, A. R. Towards understanding molecular mechanisms of action of homeopathic drugs: An Overview. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 253(1-2): 339-345. Department of Zoology, University of Kalyani, Kalyani-741235, W.B., India, 2003.

LIMA ARAUJO, M.; MESSIAS MAGALHÃES, A. C.; SILVA DE OLIVEIRA, S.; PEDROZA ABREU, M. G.; MELHORANÇA FILHO, A. L. Efeito de diferentes potenciais hídricos sobre a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas de feijão manteiguinha (*VIGNA unguiculata* (L.) WALP). *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 16, núm. 5, -, 2012, pp. 33-41 Universidade Anhanguera Campo Grande, Brasil.

LIN, C. C.; CHENG, H.Y.; YANG, C.M.; LIN, T.C. Antioxidant and Antiviral activities of *Euphorbia thymifolia*. *Journal of Biomedicine Science, USA*, 9 (6): 656 – 664, Nov-Dec, 2002.

LIN, S.; YEH, C.H.; YANG, L.M.; LIU, P.C. & HSU, F.L. Phenolic compounds from Formosan *Euphorbia tirucalli*. *Journal of the Chinese Chemical Society. China*, 48: 105 – 108, 2006.

MANDELBAUM, R.T.; WACKETT, L.P. & ALLAN, D.L. Mineralization of the s-Triazine Ring of Atrazine by Stable Bacterial Mixed Cultures. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, Vol. 59, No. 6, p. 1695-1701, June 1993.

NEIVA, L. 1968. A cura do Câncer pelo Aveloz. Arte Nova S.A, 54p.

PIRES, C.S.S.; PEREIRA, F. DE M.; RÊGO LOPES, M. T. DO; NOCELLI, R. C. F.; MALASPINA, O.; PETTIS, J.S. & TEIXEIRA, E.W. Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.5, p.422-442, maio 2016.

POZES, D.; GASPAR, S. A.; VARRICCHIO, M. T. & VARRICCHIO, M. C. B. N. Estudo teórico sobre o éster de forbol dinamizado e suas possíveis implicações e aplicações nas terapêuticas do Câncer e da AIDS.

136 f. Estudo de Revisão Bibliográfica. NP: Biblioteca do Instituto Hahnemanniano do Brasil, Rio de Janeiro, dez 1995.

PRADE, L.; HUBER, R. & BIESELER, B. Structures of Herbicides in Complex With Their Detoxifying Enzyme Glutathione S-transferase - Explanations for the Selectivity of the Enzyme in Plants. NCBI. 15;6(11):1445-52. Nov, 1998.

RADOSEVICH, M.; TRAINA, S.J.; HAO, Y. & TUOVINEN, O.H. Degradation and Mineralization of Atrazine by a Soil Bacterial Isolate. Applied and Environmental Microbiology 61(1):297-302. January 1995.

RAMOS, D. P.; CASTRO, A DE & CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de Solos da Área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pesq. Agropec. Bras., Sér. Ag 1"On., 8:1-27. 1973.

REVISTA BRASILEIRA DE QUÍMICA. Fábrica de ácido cianúrico da Degussa. 235. p.11. 1975.

VALLE, L. de S. Caracterização do "Complexo *Sapium glandulatum* (Vell.) Pax" (Euphorbiaceae). 1999. 150f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Vegetal). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1999.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; PEREIRA, C.; SALES, F.; GOMES, T.; VARRICCHIO, M. T.; MOREIRA, C. B.; DIREITO, I. C. N.; ARAÚJO, B. E.; PYRRHO, A.; HOLANDINO, C.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Avaliação qualitativa da produção de diterpenóides de *Euphorbia tirucalli* (Aveloz) sob condições controladas para fins medicinais. Revista Anais Fertbio/EMBRAPA Centro-Oeste, MS, setembro 2006, p. 20–24.

VARRICCHIO, M. C. B. N. Análise preliminar de SUD 30CH E. *tirucalli* (Aveloz) como estratégia de ação na virose Mosaico Severo do Feijão Caupi. 2º Exame de Qualificação para obtenção do título de doutor. 2007. 17p. Biblioteca UFRJ/PPGBV.

VARRICCHIO, M.C.B.N. *Euphorbia tirucalli*: Aspectos eco-geográficos em perspectiva. SEIVA – Revista de Apoio ao Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ, maio 2017. Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; KUSTER, R. M.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; LAGE, C. L. S. Estudo ecofisiológico de *Euphorbia tirucalli* (Aveloz), salinidade em micropropagação e marcadores de atividades em Biotecnologia Vegetal. INFO_SAPB – Revista de Apoio ao Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ, 2020, v. 4, n. 2. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw. Último acesso em 25/03/2025.

VARRICCHIO, M. C. B. N.; DELAUNAY, N.; DA SILVA, S.; PYRRHO, A. DOS S.; LAGE, C. L. S.; CASTELO BRANCO, M. T. L.; KUSTER, R. M. Estudo químico do solo de *Euphorbia tirucalli* do jardim do IPPN/UFRJ Campus Ilha do Fundão com fins medicinais. INFO_SAPB – Revista de Apoio ao Projeto SAPB-LIPAT/FF/UFRJ, 2020a, v. 4, n. 2. Disponível em: https://sites.google.com/view/lipat/sapb-revista_info-sapb#h.p_2VXMCTdGGOWw. Último acesso em 25/03/2025.

WADA, R.; SUTO, Y.; KANAI, M; SHIBASAKI, M. Dramatic Switching of Protein Kinase C Agonist/Antagonist Activity by Modifying the 12-ester side chain of Phorbol Esters. Journal of American Chemical Society, USA, 124: 10658–10659, 2002.

WHELAN, L. C. & RYAN, M. F. Ethanolic extracts of *Euphorbia* and other ethnobotanical species as inhibitors of human tumour cell growth. Phytomedicine, USA, 10 (1):53 –8, Jan, 2003.

YADAV, R.; SRIVASTAVA, V.K.; CHANDRA, R. & SINGH, A. Larvicidal activity of látex and stem bark of Euphorbia tirucalli plant on the mosquito Culex quinquefasciatus. The Journal of Communicable Diseases, Índia, 34 (4): 264-9, Dec., 2002.

Capítulo 7



10.37423/250409846

PROPOSTA DE UMA PRÁTICA EDUCATIVA INVESTIGATIVA COM O GEOGEBRA: UM ESTUDO DAS FUNÇÕES POLINOMIAIS DO SEGUNDO GRAU NO ENSINO MÉDIO

Davi Pedrada de Sousa

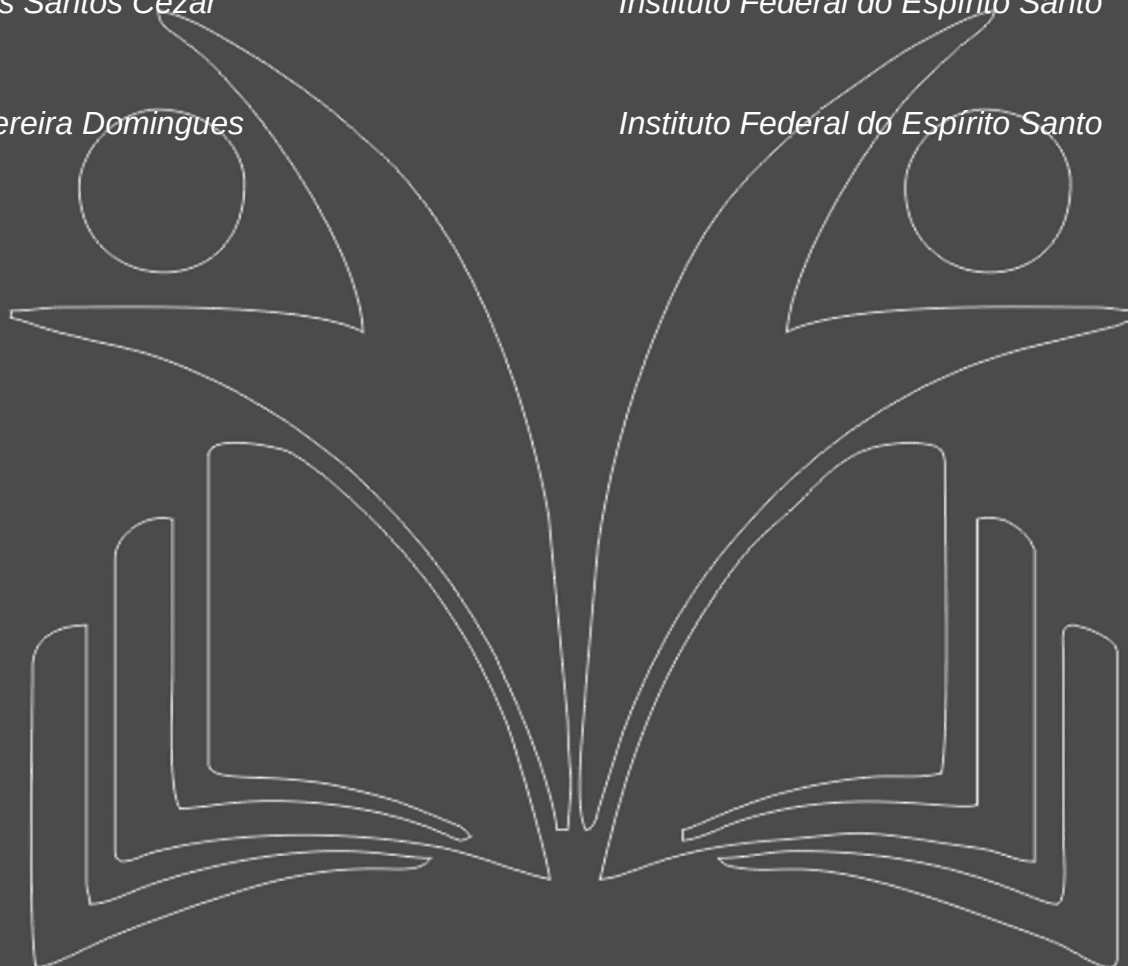
Instituto Federal do Espírito Santo

Mariana dos Santos Cezar

Instituto Federal do Espírito Santo

Deborah Pereira Domingues

Instituto Federal do Espírito Santo



Esta investigação é fruto de um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado *Significados produzidos por estudantes de Ensino Médio em uma prática envolvendo funções quadráticas com o software GeoGebra*. Ela está vinculada ao Programa Interinstitucional de Investigação denominado *Programa Linsiano de Investigação: Educação Matemática Escolar no século XXI – a formação de estudantes e professores da Educação Básica*, desenvolvido pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), e ao Projeto de Investigação denominado *Educação Matemática Escolar: formação de estudantes e professores de Matemática para a Educação Básica – um olhar a partir do Modelo dos Campos Semânticos*, desenvolvido a partir do Grupo de Estudos e Pesquisas em Modelo dos Campos Semânticos e Educação Matemática (Gepemem), vinculado ao curso de Licenciatura em Matemática (Limat) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes) – *campus* Vitória. Nosso trabalho refere-se à proposta de uma prática educativa investigativa (PEI) (Chaves, 2004) relativa ao estudo das funções polinomiais do segundo grau no Ensino Médio (Ensino Secundário) com o uso do GeoGebra, um *software* de Matemática que possui recursos os quais combinam tabelas, gráficos, geometria, álgebra e estatística, e que permite construir e manipular objetos matemáticos na tela do computador. A investigação tem o objetivo geral de *analisar significados produzidos por estudantes de Ensino Médio relativos a noções de equações e funções polinomiais do segundo grau, a partir do software GeoGebra*. Com base nisso, estabelecemos o seguinte problema de pesquisa: “*que significados são produzidos por estudantes de Ensino Médio relativos a noções de equações e funções polinomiais do segundo grau, a partir do software GeoGebra?*”. Além disso, para atingirmos nosso objetivo geral, definimos as seguintes ações de pesquisa, que correspondem às ações de nossa prática: (i) apresentar problemas históricos envolvendo a resolução de equações quadráticas; (ii) discutir a respeito do desenvolvimento e dos resultados das situações-problema relativas ao item (i); (iii) entender o significado dos coeficientes a , b e c de uma função quadrática, cuja lei de formação é $f(x) = ax^2 + bx + c$, a partir de um gráfico construído no GeoGebra; (iv) identificar as raízes e sua relação com o discriminante dessa função. Esta ação foi voltada para alunos do 1º ano do Ensino Médio do Ifes – *campus* Vitória (que corresponde ao 10º ano do Ensino Secundário), e os encontros ocorreram de maneira presencial, nos quais trabalhamos em grupos, com um monitor por grupo. Os monitores constituíram a equipe de execução da ação e foram responsáveis por dar suporte e orientação aos participantes no desenvolvimento das tarefas propostas. A duração de cada encontro foi de 1 hora e 30 minutos, durante quatro dias ao decorrer do primeiro semestre de 2024, o que totalizou 6 horas. Nos dois primeiros encontros, foram apresentados *slides* com uma abordagem de problemas históricos

envolvendo a resolução de equações quadráticas, como tratada por Pedroso (2010). Já nos dois últimos encontros, foram aplicadas tarefas aos participantes em folhas impressas, realizadas a partir de Lacerda (2019) e Sousa (2014), as quais são relativas às investigações feitas no GeoGebra envolvendo os coeficientes, as raízes e o discriminante de uma função do segundo grau. Nossa investigação é caracterizada por uma abordagem qualitativa (Bogdan & Biklen, 2013) e baseada nos princípios do estudo de caso (Yin, 2015). Além disso, nosso referencial teórico é pautado no Modelo dos Campos Semânticos (MCS) (Lins, 1999, 2012; Silva, 2022) – um modelo epistemológico desenvolvido pelo Prof. Dr. Romulo Campos Lins, que, ao elaborar e desenvolver o MCS, objetivava, entre outras coisas, “[...] dar conta de caracterizar o que os alunos estavam pensando quando ‘erravam’, mas sem recorrer à ideia de erro” (Lins, 2012, p. 11) –, nas Práticas Educativas Investigativas (PEI) (Chaves, 2004) e no trabalho com cenários para investigação (Skovsmose, 2014; Cezar, 2022). Como justificativa para esta investigação, destacamos que os documentos educacionais normativos apontam a importância do ensino de funções na Educação Básica. Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) (Brasil, 2002) estabelecem que as funções polinomiais são muito importantes para serem trabalhadas com os estudantes, pois elas estão presentes em diversas áreas do conhecimento, como na Computação, nas Engenharias e na Física. Ademais, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) – documento que define as aprendizagens essenciais a serem trabalhadas nas escolas de toda a Educação Básica no Brasil – mostra que é interessante abordar as diferentes maneiras de se representar uma função. Dentre as competências específicas de Matemática para o Ensino Médio, destaca-se: “Compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas” (Brasil, 2018, p. 538). Por fim, os resíduos de enunciação provenientes dos diálogos produzidos durante a prática foram analisados a partir do método da leitura plausível (Lins, 1999, 2012; Silva, 2022), de modo a identificarmos e refletirmos a respeito dos significados produzidos pelos estudantes. Tais análises e discussões foram apresentados no referido Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Palavras-chave: Prática Educativa Investigativa; GeoGebra; Funções Polinomiais do Segundo Grau; Ensino Médio; Modelo dos Campos Semânticos.

REFERÊNCIAS

- Bodgan, R., & Biklen, S. (2013). *Investigação qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto, Portugal: Porto.
- Brasil. (2018). Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF.
- Brasil. (2002). Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília, DF.
- Cezar, M. S. (2022). *Empoderamento Docente e Educação Matemática Crítica: em busca de uma prática educativa libertadora nos anos iniciais do Ensino Fundamental (Tese de Doutorado)*. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Chaves, R. (2004). *Por que anarquizar o ensino de Matemática intervindo em questões socioambientais? (Tese de Doutorado)*. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP.
- Lacerda, A. P. (2019). *Estudo da função quadrática no GeoGebra: análise em uma turma de jovens e adultos (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Lins, R. C. (2012). O Modelo dos Campos Semânticos: estabelecimento e notas de teorizações. In C. L. Angelo et al. (Org.), *Modelo dos Campos Semânticos e Educação Matemática: 20 anos de história*. São Paulo, SP: Midiograf.
- Lins, R. C. (1999). Por que discutir teoria do conhecimento é relevante para a Educação Matemática. In B. M. A. Viggiani (Org.), *Pesquisa em Educação Matemática: concepções e perspectivas*. São Paulo, SP: Unesp.
- Pedroso, H. A. (2010). Uma breve história da equação do 2º grau. *Revista Eletrônica da Matemática*, p. 13.
- Silva, A. M. (2022). *O Modelo dos Campos Semânticos: um modelo epistemológico em Educação Matemática*. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna.
- Skovsmose, O. (2014). *Um convite à Educação Matemática Crítica*. Trans. O. A. Figueiredo. Campinas, SP: Papirus.
- Sousa, R. M. (2014). *O uso do GeoGebra no ensino de função quadrática (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso: planejamento e métodos (2a ed.)*. Trans. D. Grassi. Porto Alegre, RS: Bookman.

Capítulo 8



10.37423/250409903

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES BY ELECTROCHEMISTRY

Higor de Souza Silva

*Universidade estadual paulista "Júlio de
Mesquita Filho"*

Eloisa Aparecida Carvalho Silva

*Universidade estadual paulista "Júlio de
Mesquita Filho"*

Gabriel Menegolo de Castro Meira

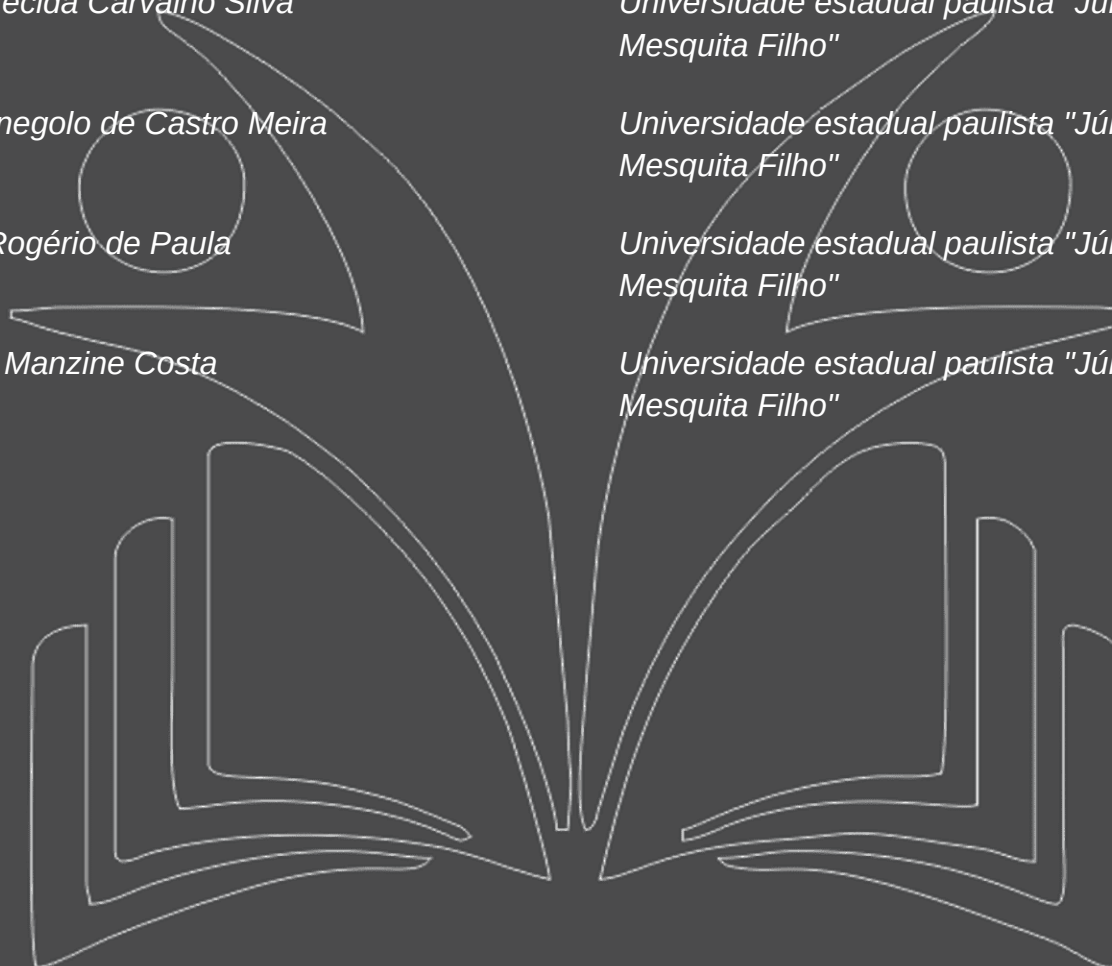
*Universidade estadual paulista "Júlio de
Mesquita Filho"*

Fernando Rogério de Paula

*Universidade estadual paulista "Júlio de
Mesquita Filho"*

Ligia Maria Manzine Costa

*Universidade estadual paulista "Júlio de
Mesquita Filho"*



Abstract: Due to their vast number of applications in different areas of science, metallic nanoparticles have aroused great interest in the scientific community. The medical field has become its main place of activity due to the physical-chemical, optical, thermal and electrical conductivity properties, which make this material efficient in combating bacteria, fungi and viruses, in addition to health care associated with preventive medicine. However, traditional methodologies for obtaining it act in conjunction with negative aspects for the environment and human health due to the use of toxic chemical reagents. Thus, a green synthesis is proposed to obtain silver nanoparticles (AgNPs), which presents a cleaner route and avoids the use of toxic substances and organic solvents. Briefly, the synthesis process consisted of the use of NaCl associated with corn glucose sent to a mild temperature process. Two silver electrodes were used, which were conducted at an electric current of 0.08A and voltage of 15.5V. After obtaining, the AgNPs were characterized by UV-Visible spectroscopy, dynamic light scattering (DLS) and Zeta potential (PZ). The Uv-vis optical absorption results showed a wavelength in the range of 415 nm, characteristic of AgNPs. As for DLS, the formation of a large part of the nanoparticles with an average diameter of 8 nm and a PZ showing an average value of -26.86 mV was indicated, indicating particles as unstable or neutral. All stages of this work were carried out to guarantee a sustainable nanotechnology product, which can be used and applied in textiles, medical devices and health care products. The synthesis process showed high reproducibility, in accordance with the principles of green chemistry and sustainability, with easily accessible and low-cost materials. In addition to the formation of extremely small AgNPs, presenting unique properties, ideal for example for encapsulation and release.

Keywords: Nanoparticles, silver, green synthesis, electrochemistry.

INTRODUCTION

Metal nanoparticles have aroused great interest in the scientific community due to their wide use in various fields of science [1]. Due to its physical-chemical, optical, thermal, and electrical conductivity properties, this material is mainly used in the medical field to combat bacteria, fungi, and viruses and in preventive health care [2]. On the other hand, conventional methods of production result in problems for the environment and human health due to the use of hazardous chemical reagents [3]. Thus, a green synthesis is suggested for obtaining silver nanoparticles (AgNPs). This method offers a cleaner route that avoids using organic solvents and toxic materials.

METHODOLOGY

The synthesis consisted of using NaCl in combination with corn glucose and applying an electric current. Using two silver electrodes and a current of 0.08 A led to a voltage of 15.5V. UV-visible spectroscopy, dynamic light diffusion (DLS), and Zeta potential (PZ) were used to characterize AgNPs.

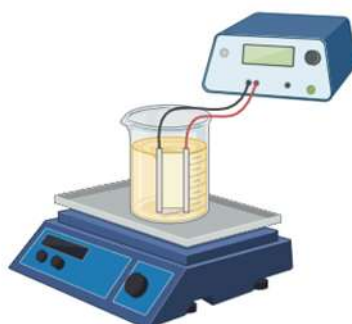


Figure 1: Schematic model for obtaining AgNPs

RESULTS

The DLS showed the formation of nanoparticles with an average diameter of 8 nm and a PZ with a mean value of -26.86 mV, indicating that the particles are either unstable or neutral.

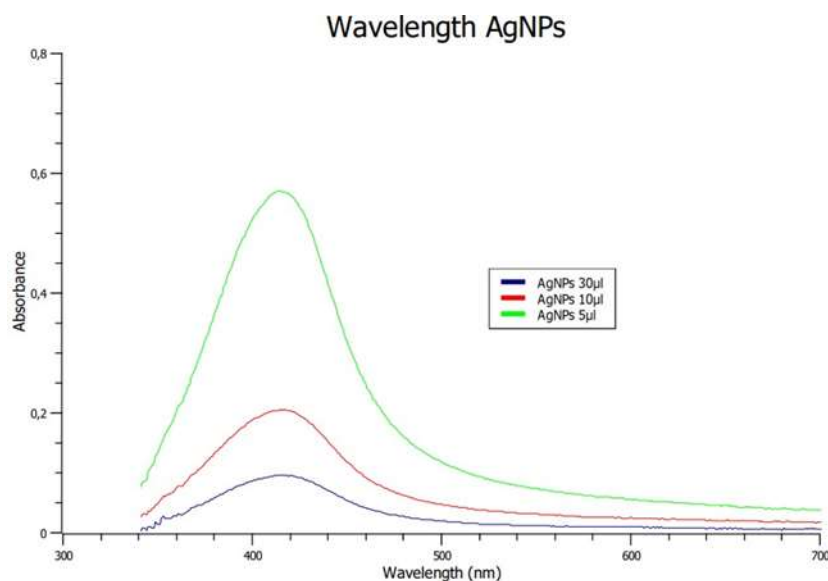


Figure 2: Wavelength at different concentrations of AgNPs.

Uv-vis optical absorption results showed a wavelength in the range of 415 nm, characteristic of AgNPs.

CONCLUSION

This work's ultimate goal is a sustainable nanotechnology product that can be used in medical devices, textiles, and healthcare-related products. The process has demonstrated high reproducibility and is consistent with green and sustainable chemistry, using cheap and easy-to-obtain materials. In addition to forming AgNPs, they have distinct properties that make them ideal for encapsulation and release of drugs.

REFERENCES

- [1] CÂMARA, N. L. A. S.; VIANA, D. S. F.; VIANA, V. G. F.; Synthesis and characterization of silver nanoparticles stabilized in extract of *Struthanthus flexicaulis* Mart. (birdweed). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, 2021.
- [2] MIRANDA, R. R.; SAMPAIO, I.; ZUCOLOTTI, V. Exploring silver nanoparticles for cancer therapy and diagnosis - *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. Physics Institute of São Carlos, São Paulo University, São Carlos, São Paulo, 2021.
- [3] LIMA, V. F. A.; Green synthesis of “CdTe” quantum dot nanocomposites with carbon nanotubes electrochemically. 2017. Dissertation (Master’s in Materials Science) - Federal University of Pernambuco, Recife, 2017.

Capítulo 9



10.37423/250409905

FOTODEGRADAÇÃO DE CORANTE: DESENVOLVIMENTO DE UM FOTORREATOR DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE REAÇÕES FOTOQUÍMICAS

Maurício Pereira Ferreira

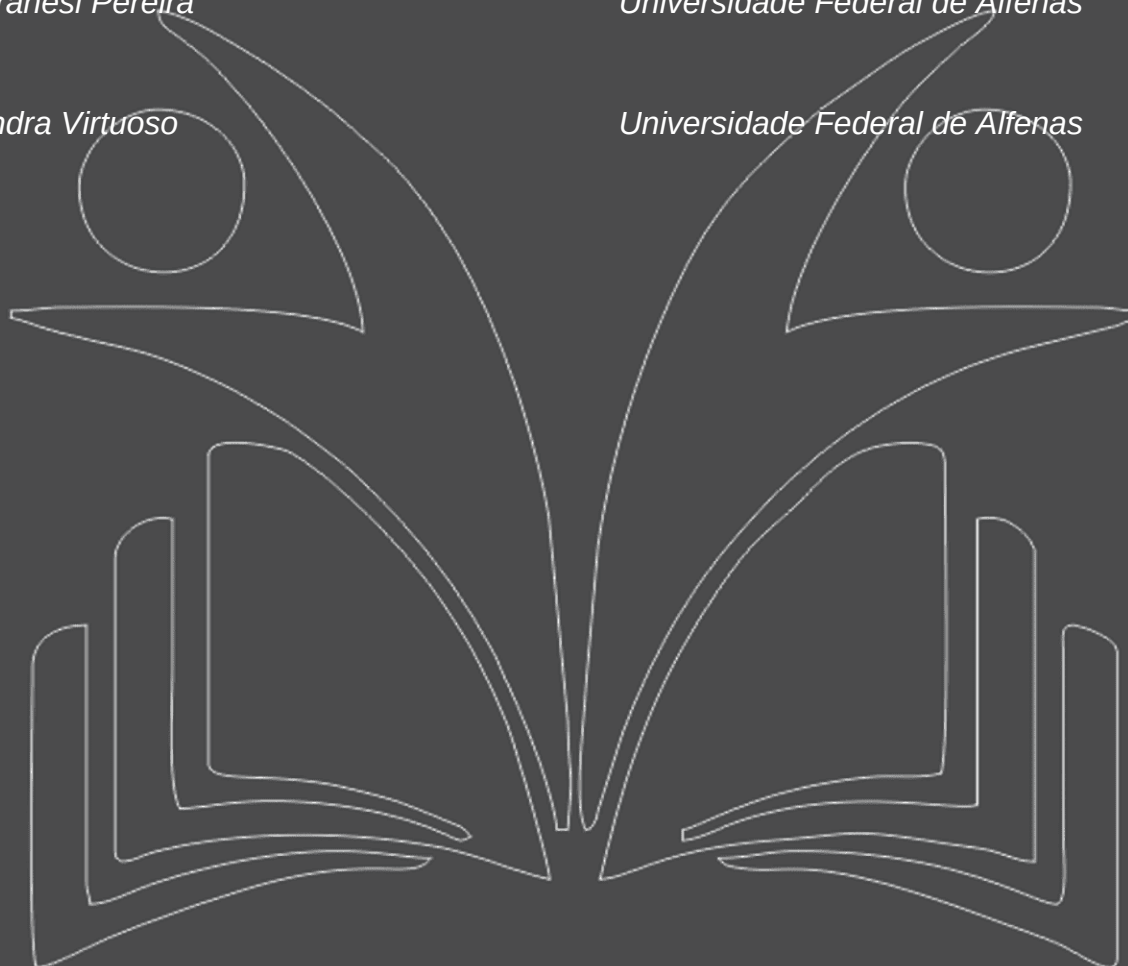
Universidade Federal de Alfenas

Thalles Maranesi Pereira

Universidade Federal de Alfenas

Luciano Sindra Virtuoso

Universidade Federal de Alfenas



Resumo: Foi desenvolvido um fotorreator de baixo custo para o ensino de reações fotoquímicas, utilizando tubos de ensaio de 15 mL e LEDs controlados por Arduino para ajustar a intensidade luminosa. O equipamento foi validado com a actinometria química e a fotodegradação do corante azul de metileno (AM), mostrando a eficácia do protótipo. A análise por espectroscopia UV-VIS confirmou a degradação do AM, destacando o potencial do fotorreator para estudos didáticos e pesquisas preliminares em fotoquímica.

Palavras-chave: Fotorreator semiautomatizado; Fotodegradação de Corantes; Ensino de Fotoquímica.

INTRODUÇÃO

A eliminação de águas residuais contaminadas com corantes é uma grande preocupação global, que demanda o emprego de diversas técnicas de tratamento (SAEED et al., 2022).

Por esse motivo, processos oxidativos avançados (POAs), como foto-Fenton, fotocatalise homogênea e fotocatalise heterogênea, têm sido consideradas alternativas promissoras. Esses métodos são economicamente mais viáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente no tratamento de efluentes. Eles atuam diretamente nas estruturas químicas dos corantes, através da interação com a radiação, principalmente na região do espectro eletromagnético UV-VIS, visando induzir efeitos físicos e luminescentes que transformem os poluentes em radicais menos tóxicos para o meio ambiente (WANG; WANG, 2020).

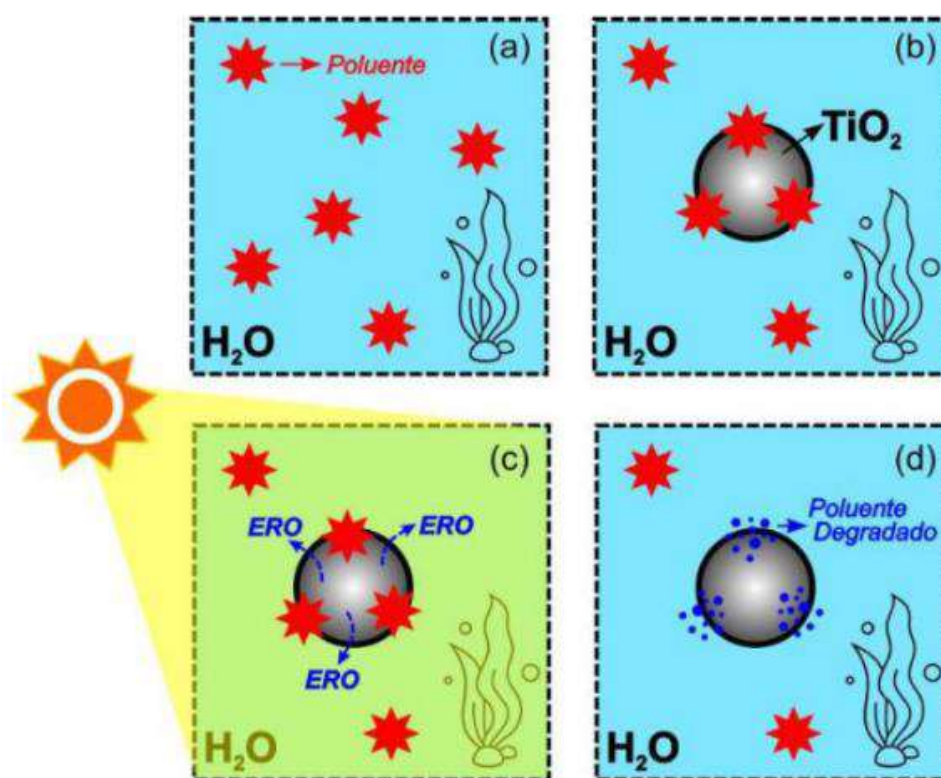


Figura 1. Representação esquemática da dinâmica do processo de degradação de POPs em meio aquoso (FERREIRA, 2020).

A degradação fotocatalítica de poluentes orgânicos persistentes (POPs) é um processo econômico que converte moléculas complexas em espécies menores e não tóxicas através de reações redox fotoassistidas, conforme ilustrado na Figura 1. Em um ambiente aquático poluído (Figura 1a), nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) são adicionadas e adsorvem as moléculas poluentes na

superfície (Figura 1b). Quando expostas à luz solar, essas nanopartículas geram espécies reativas de oxigênio (EROs) (Figura 1c), que quimicamente degradam os poluentes (Figura 1d) (FERREIRA, 2020). O processo utiliza radicais hidroxila e ânions superóxido fotogerados para atacar e mineralizar as moléculas de corante em CO_2 e H_2O . Esta tecnologia destaca-se pela simplicidade, completa mineralização dos poluentes, ausência de subprodutos nocivos, economia e capacidade de reduzir contaminantes a níveis de ppm e ppb (KHAN et al., 2020)

Com a reformulação no programa de ensino das universidades, a partir da inclusão de Atividades Curriculares de Extensão (ACEX) na composição curricular obrigatória, o curso de Química Bacharelado da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) desenvolveu um projeto de extensão voltado para o tratamento de uma fonte de água que atende a um bairro periférico da cidade. Dessa forma, o aprendizado e a utilização dos processos de fotocatalise podem proporcionar aos alunos uma maior compreensão dos processos de tratamento de águas.

Além disso, Alfenas abriga grandes empresas do setor têxtil, como a UNIFI do Brasil Ltda e a Sinterama do Brasil, que utilizam grandes quantidades de corantes diariamente. Essas empresas geram renda para uma significativa parcela da população local e da região. Embora possuam sistemas próprios de tratamento de resíduos, os métodos convencionais de tratamento de corantes são caros e demorados. A tecnologia apresentada tem grande potencial para reduzir os custos operacionais e o tempo de tratamento, evitando grandes acidentes ambientais e garantindo o bem-estar da população e a segurança dos trabalhadores dessas importantes empresas.

À vista disso, o objetivo desse trabalho foi desenvolver um fotorreator de luz ultravioleta de baixo custo para o ensino de reações fotoquímicas, especialmente para a degradação de corantes. Este fotorreator é controlado por uma plataforma Arduino que permite ajustar o tempo e a intensidade da radiação incidente sobre a amostra, além de utilizar agitação mecânica externa.

MATERIAL E MÉTODOS

DESENVOLVIMENTO DO FOTORREATOR PARA TUBO DE ENSAIO

Como resultado deste trabalho, foi concebido e construído um fotorreator em escala de bancada, com as dimensões de 120 mm largura, 154 de comprimento e 110 mm de altura. O fotorreator foi projetado para operar com um tubo de ensaio de 100 mm de altura e 15 mm de diâmetro, com capacidade de 15 mL. O fotorreator é composto por uma base de LEDs, com uma geometria interna hexagonal regular

de 25 mm de diâmetro e 100 mm de altura, e uma geometria externa quadrada de 49 mm de base e é apresentado na figura 2.



Figura 2. Fotorreator desenvolvido pelo software Fusion 360 da Autodesk. Em destaque a base de LEDs para um tubo de ensaio de 15 mL.

Nas paredes internas desse módulo, ao longo das arestas do hexágono, foram fixadas seis fileiras consecutivas de fitas de LEDs UVA de 395 nm do modelo WS2811, com LEDs SMD 5050, cada uma contendo 6 LEDs, totalizando 36 LEDs por módulo. Essa configuração assegura a incidência uniforme de radiação luminosa nas laterais do tubo de ensaio, promovendo condições ideais para as reações fotoquímicas. As fitas de LEDs cobrem completamente a parede interna do módulo, garantindo uma iluminação uniforme com LEDs UVA.

A utilização de LEDs como fonte de excitação luminosa no protótipo do fotorreator permitiu a implementação do controle de intensidade luminosa, fundamental para controlar a cinética das reações fotoquímicas. Este controle foi implementado através da tecnologia de modulação por largura de pulso (PWM). O Arduino UNO, utilizado no sistema, possui seis pinos de saída PWM (pinos: 3, 5, 6, 9, 10 e 11), operando a uma frequência de 490 Hz, exceto os pinos 5 e 6, que operam a 980 Hz.

Devido à baixa corrente disponível nos pinos do Arduino, foi necessário empregar um MOSFET para controlar a corrente dos LEDs e ajustar a intensidade luminosa. Para garantir a segurança dos circuitos e simplificar a implementação, foi utilizado um módulo MOSFET IRF540 de 4 canais, com controle individual para cada MOSFET, sendo um dos canais dedicado ao controle da intensidade dos LEDs.

Uma das características distintivas deste fotorreator é sua capacidade de fornecer radiação luminosa controlada. O fotorreator foi fabricado com o auxílio de uma impressora 3D Creality Ender 3 S1, utilizando filamentos PLA da marca Voolt3D, o que permitiu precisão e customização na fabricação dos componentes.

Essa configuração inovadora permite um controle preciso da intensidade luminosa, essencial para a cinética das reações fotoquímicas, além de proporcionar flexibilidade e eficiência no uso do fotorreator em diferentes experimentos.

CARACTERIZAÇÃO ACTINOMÉTRICA DO FOTORREATOR PARA TUBO DE ENSAIO

Realizou-se a medição actinométrica de ferrioxalato de potássio ($K_3[Fe(C_2O_4)_3]$) seguindo o método de Hatchard (HATCHARD; PARKER, 1956). Para essas medições, 10 mL de uma solução 0,006M de $K_3[Fe(C_2O_4)_3]$ foi irradiada por LEDs sob agitação constante por 10 minutos. Após o término do tempo de irradiação, coletaram-se 2,0 mL da solução irradiada, aos quais foram adicionados 2,5 mL de tampão de acetato de sódio, 1,0 mL de 1,10-fenantrolina (0,1%) e 4,5 mL de água deionizada. Após um período de descanso de 30 minutos, a concentração de Fe(II) formada durante a irradiação foi determinada por espectrofotometria a 510 nm, após complexação com 1,10-fenantrolina (0,1%) em tampão acetato de sódio. A solução de ferrioxalato de potássio não irradiada foi utilizada como branco. Todo o procedimento foi realizado em ambiente escuro.

FOTODEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO

Para realizar o teste de fotodegradação no fotorreator de tubo de ensaio, foi utilizada uma solução de azul de metileno (AM, figura 3) na concentração de 15 ppm. Como fotocatalisador, foi empregado o TiO_2 na concentração de 20 mg para cada 10 mL de solução de AM. Inicialmente, foram preparados 15 mL da solução de AM e adicionados 30 mg de TiO_2 . Posteriormente, 2,5 mL da solução foram retirados para a leitura inicial, e 10 mL da solução de AM foram transferidos para um tubo de ensaio. O tubo de ensaio foi então inserido no fotorreator, configurando-se os LEDs para um comprimento de onda de 395 nm e ajustando sua intensidade para 100%. O tempo de exposição foi ajustado para 30 minutos, retirando alíquotas de 2 mL a cada 5 minutos. Um agitador magnético externo foi utilizado para manter a solução constantemente agitada durante a reação. Após o período de irradiação, a amostra foi centrifugada a 3000 rpm por 15 minutos.

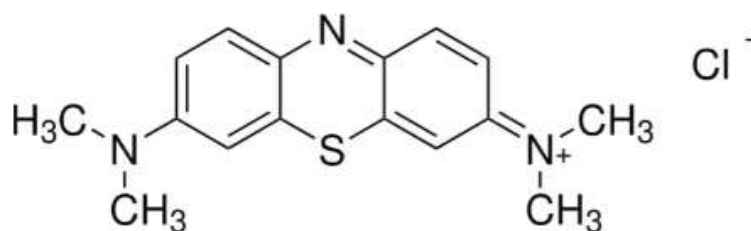


Figura 3. Estrutura molecular do azul de metileno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE ESPECTRAL DOS LEDS

Realizou-se a medição espectrométrica das fitas de LEDs UVA de 395 nm, cujo resultado mostrou um pico de emissão em 395,17 nm, com uma largura de banda de 38 nm, conforme apresentado na Figura 4.

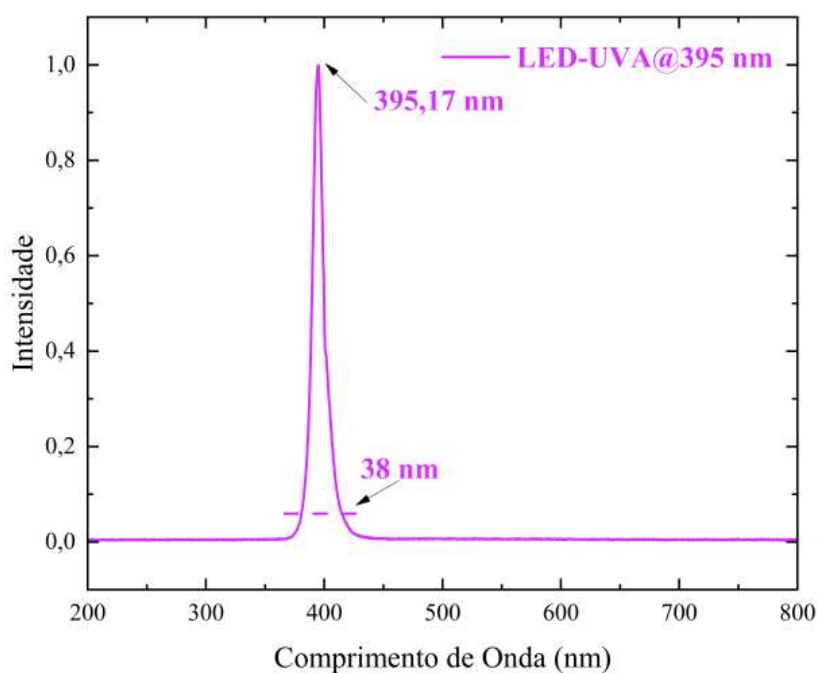
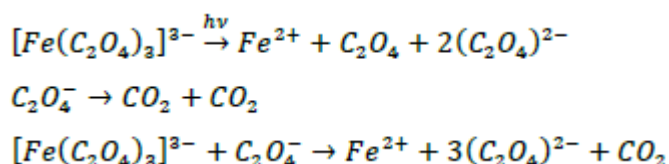


Figura 4. Espectro de emissão das fitas de LEDs UVA de 395 nm com uma largura de banda de 38 nm.

EFICIÊNCIA FOTÔNICA DO FOTORREATOR

O processo de caracterização actinométrica do fotorreator envolveu a avaliação do fluxo de fótons (I_f) e da potência do reator (I_W), utilizando o sal actinométrico $K_3[Fe(C_2O_4)] \cdot 3H_2O$ por sua confiabilidade. Este método se baseia na geração de íons Fe^{2+} quando expostos à luz, que são usados para determinar os parâmetros I_f e I_W , fornecendo resultados confiáveis sobre as condições do fotorreator.



Os resultados fornecem insights valiosos sobre o desempenho do fotorreator e sua eficiência na geração de íons Fe^{2+} por meio da exposição à radiação luminosa. Essa caracterização é essencial para garantir a precisão e a consistência das operações do fotorreator em experimentos subsequentes.

Os valores de intensidade luminosa (I_f) e intensidade da radiação branca (I_w) foram de $7,186 \times 10^{16}$ fótons. s^{-1} e 34 mW.cm^{-2} , respectivamente.

FOTODEGRADAÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO

Embora as mudanças na coloração das soluções devido à fotodegradação do corante fossem visíveis a olho nu (Figura 5), os resultados foram analisados com maior precisão através da espectroscopia UV-VIS, na região entre 350 a 800 nm.

Na Figura 6, podemos observar a fotodegradação do corante, com um pico inicial centralizado em aproximadamente 672 nm. Após uma exposição de 30 minutos à radiação dos LEDs de 395 nm, observa-se uma clara redução na intensidade deste pico, indicando a fotodegradação do corante azul de metileno.

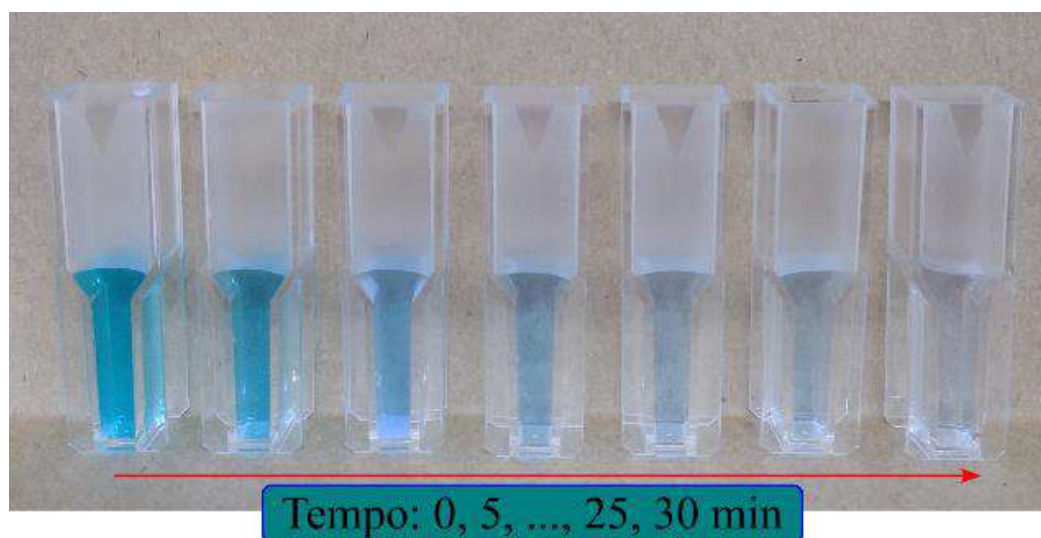


Figura 5. Progressão visual da fotodegradação do AM em resposta a diferentes tempos de exposição à radiação de 395 nm.

Entretanto, o processo de fotocatalise pode ser visto com tempos menores, como no caso da curva destacada em verde que representa o tempo de 5 minutos de exposição à radiação, onde é possível

observar uma redução de aproximadamente 65% na absorbância total da amostra devido a N-desmetilação do corante azul de metileno, indicando a clivagem do seu grupo cromóforo.

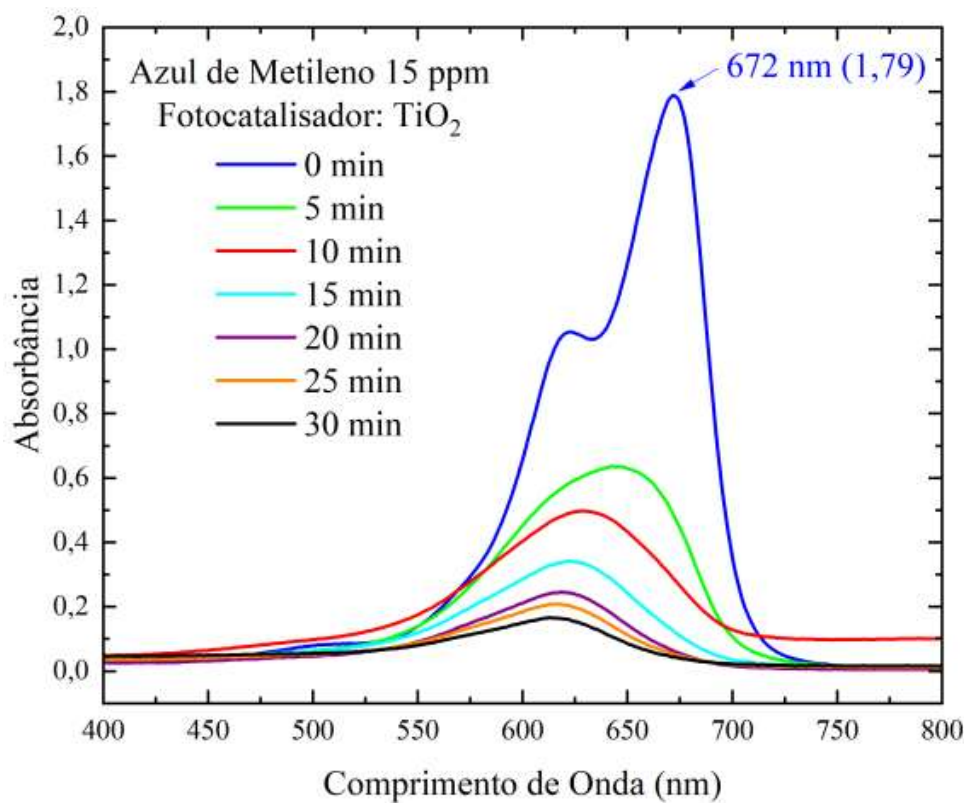


Figura 6. Espectro de absorção da fotodegradação do corante azul de metileno.

Além disso, os dados obtidos mostram que apesar de seu tamanho relativamente pequeno, seu design faz com que o fotorreator possua potência suficiente para a realização de processos fotocatalíticos.

CONCLUSÃO

O presente trabalho alcançou seu objetivo ao construir um fotorreator eficiente para a degradação de corantes, especificamente o azul de metileno. Apesar de seu pequeno tamanho, o fotorreator possui uma potência relativamente alta em comparação com outros reatores que operam com volumes reacionais maiores. O curto tempo necessário para a degradação do corante azul de metileno demonstra a eficiência do fotorreator nos processos de fotocatalise, sugerindo que tal metodologia pode ser explorada no tratamento de água da cidade de Alfenas, tanto no projeto de extensão da UNIFAL-MG quanto no tratamento de resíduos têxteis, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos da região. Além disso, todas as etapas envolvidas no processo de fotocatalise são de fácil preparação e curta duração, tornando o processo viável dentro do período acadêmico dos alunos.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, M. P. Preparação e caracterização estrutural de nanopartículas de TiO_2 dopado com lantanídeos ($\text{Ti}_{1-x}\text{Gd}_x\text{O}_2$ e $\text{Ti}_{1-x}\text{La}_x\text{O}_2$) para aplicações fotocatalíticas. [s.l: s.n.].

HATCHARD, C. G.; PARKER, C. A. A new sensitive chemical actinometer-II. Potassium ferrioxalate as a standard chemical actinometer. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, v. 235, n. 1203, p. 518–536, 1956.

KHAN, I. et al. Heterogeneous photodegradation of industrial dyes: An insight to different mechanisms and rate affecting parameters. Journal of environmental chemical engineering, v. 8, n. 5, p. 104364, 2020.

SAEED, M. et al. Photocatalysis: An effective tool for photodegradation of dyes—A review. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, n. 1, p. 293–311, 2022.

WANG, J.; WANG, S. Reactive species in advanced oxidation processes: Formation, identification and reaction mechanism. Chemical Engineering Journal, v. 401, p. 126158, 2020.

TÓPICOS EM CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

VOLUME VII



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE