

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais

Volume X

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores



Pantanal Editora

2026

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

**Inovações em pesquisas agrárias e
ambientais**
Volume X



Pantanal Editora

2026

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
UFJF
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

158

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais volume X / Organização de Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2026.
64p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-80-8

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756808>

1. Agronomia. 2. Sustentabilidade. 3. Ciências ambientais. I. Zuffo, Alan Mario (Organizador). II. Aguilera, Jorge González (Organizador). III. Oliveira, Bruno Rodrigues de (Organizador). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Agronomia



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O volume X do e-book Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais reúne estudos científicos que abordam diferentes estratégias voltadas à sustentabilidade, inovação tecnológica e ao desenvolvimento de sistemas agrícolas mais eficientes e resilientes. Os capítulos contemplam pesquisas aplicadas nas áreas de recursos hídricos, fisiologia vegetal, tecnologia de sementes e manejo nutricional de culturas agrícolas, evidenciando a importância da integração entre ciência, produção agrícola e conservação ambiental.

O primeiro capítulo apresenta uma análise da organização hidroterritorial da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, destacando a relação entre bacias hidrográficas otocodificadas e os limites municipais, contribuindo para o planejamento territorial e a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Na sequência, o segundo capítulo discute o uso do silício biogênico proveniente da casca de arroz como alternativa sustentável no tratamento de sementes de arroz, enfatizando o aproveitamento de resíduos agrícolas e os efeitos do silício sobre a qualidade fisiológica das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas.

O terceiro capítulo aborda a aplicação do ácido salicílico sobre o desenvolvimento, a fisiologia e a produtividade de plantas, reunindo conhecimentos relacionados à mitigação de estresses bióticos e abióticos, especialmente em condições de déficit hídrico e salinidade, demonstrando o potencial desse fitohormônio na agricultura moderna.

Por fim, o quarto capítulo avalia o desempenho do amendoim submetido a diferentes doses de fertilizantes mineral e organomineral associados à inoculação com *Azospirillum brasilense*, evidenciando estratégias sustentáveis de manejo nutricional e uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal para incremento do desempenho agronômico da cultura.

Dessa forma, este volume reafirma o compromisso com a disseminação do conhecimento científico voltado à inovação, sustentabilidade e fortalecimento das ciências agrárias e ambientais, contribuindo para o avanço de tecnologias e práticas capazes de promover sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e alinhados aos desafios contemporâneos da agricultura e do meio ambiente.

Boa leitura!

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Hidrografia na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso	
Capítulo 2	21
Silício biogênico como alternativa sustentável no tratamento de sementes de arroz	
Capítulo 3	31
Aplicação do ácido salicílico (AS) sobre o desenvolvimento, fisiologia e a produtividade de plantas	
Capítulo 4	49
Desempenho do amendoim sob o efeito de diferentes doses de fertilizantes mineral e organomineral, associados a inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i>	
Índice Remissivo	63
Sobre os organizadores	64

Hidrografia na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso

Recebido em: 04/03/2026

Aceito em: 08/03/2026

 10.46420/9786585756808cap1

Pedro Hurtado de Mendoza Borges 

Zaira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza 

Pedro Hurtado de Mendoza Morais 

INTRODUÇÃO

A gestão territorial dos recursos hídricos constitui um dos principais desafios do planejamento ambiental contemporâneo, especialmente em regiões marcadas por intensas transformações no uso e cobertura da terra. A bacia hidrográfica é amplamente reconhecida como unidade territorial fundamental para a gestão das águas, por integrar processos físicos, ecológicos e socioeconômicos em um mesmo sistema espacial (Tucci, 2004; Porto; Porto, 2008). No contexto brasileiro, a Política Nacional de Recursos Hídricos consolidou essa perspectiva ao estabelecer a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão (ANA, 2007, 2011).

Entretanto, o município permanece como instância central para implementar políticas públicas, o que torna necessária a articulação entre limites administrativos e unidades hidrográficas. Na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, caracterizada pela expansão da fronteira agrícola nas últimas décadas (IBGE, 2020; CONAB, 2023), essa integração assume papel estratégico para subsidiar ações de gestão, monitoramento e ordenamento territorial. Além disso, a abordagem hidroterritorial permite compreender, de forma mais ampla, as interações entre processos físicos e dinâmicas socioeconômicas no espaço. A delimitação e hierarquização das bacias hidrográficas constituem instrumentos essenciais para a análise espacial dos sistemas de drenagem, permitindo compreender sua organização estrutural e funcional em diferentes escalas.

No Brasil, a sistematização hidrográfica baseada na ottocodificação possibilitou a padronização nacional das unidades de drenagem, culminando na elaboração da Base Hidrográfica Ottocodificada multiescalas (BHO), coordenada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Essa base cartográfica estruturada em níveis hierárquicos permite análises hidroterritoriais compatíveis com distintas escalas de planejamento, desde grandes regiões hidrográficas até unidades sub-regionais. Contudo, apesar de sua ampla disponibilidade e relevância técnica, ainda são limitados os estudos que exploram de forma integrada a relação entre as bacias ottocodificadas de nível intermediário e os limites municipais, especialmente em áreas de expansão produtiva no estado de Mato Grosso.

A Macrorregião Nordeste de Mato Grosso apresenta dinâmica territorial marcada pela consolidação de atividades agropecuárias e pela ampla distribuição de sistemas de drenagem inseridos em importantes regiões hidrográficas brasileiras. Apesar da relevância ambiental e econômica da área, a

organização espacial das unidades hidrográficas em escala sub-regional e sua relação com os limites municipais ainda carecem de sistematização analítica que permita compreender a configuração hidroterritorial predominante. A ausência dessa caracterização dificulta a articulação entre planejamento municipal e gestão por bacias hidrográficas, especialmente em contextos de intensificação do uso do solo. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo caracterizar a organização hidroterritorial da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso a partir da análise das bacias hidrográficas otocodificadas de nível 4 e de sua relação espacial com os municípios inseridos na área de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a Macrorregião Nordeste do estado de Mato Grosso, conforme a segmentação proposta pelo Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (IMEA, 2017). Essa unidade territorial encontra-se inserida em duas importantes regiões hidrográficas do Brasil: a Região Hidrográfica Amazônica e a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, evidenciando a ocorrência de municípios com contribuição exclusiva a uma dessas regiões e municípios com participação simultânea em ambas. A localização, bem como o enquadramento espacial da área de estudo nas regiões hidrográficas mencionadas apresentam-se na Figura 1.

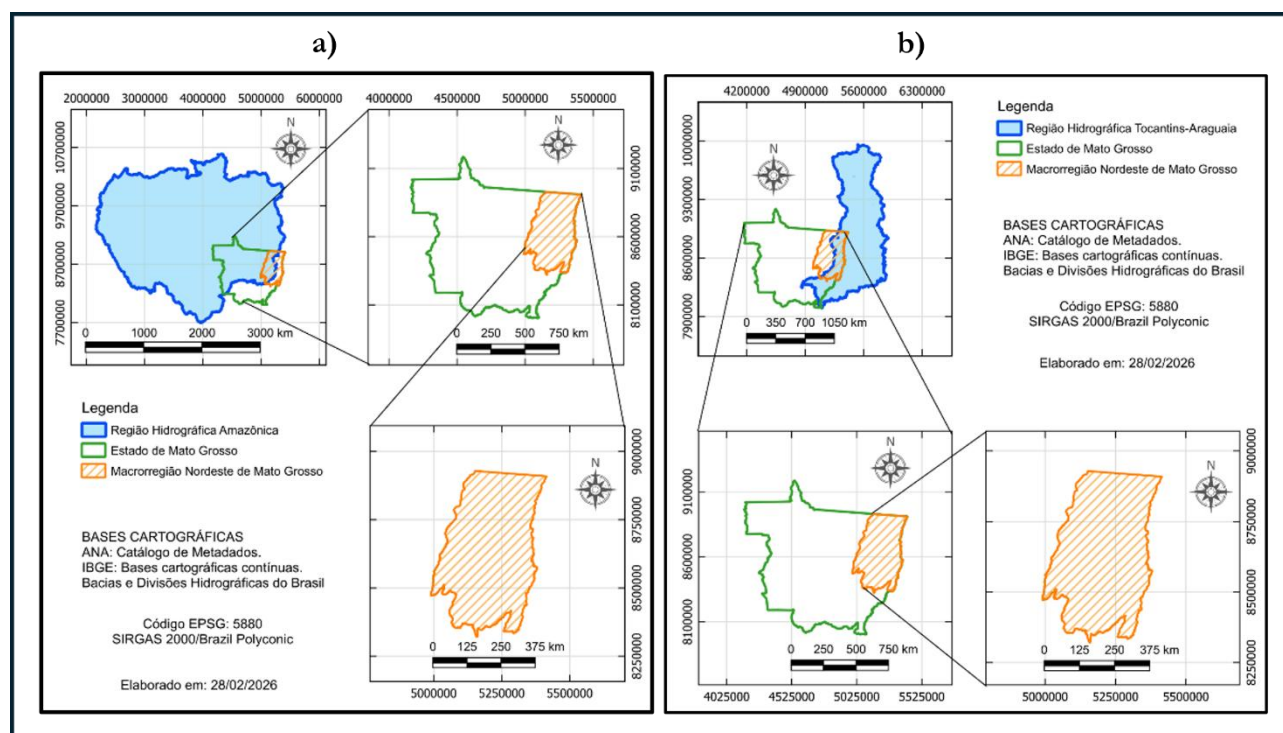


Figura 1. Porção da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso inserida nas Regiões Hidrográficas: a) Amazônica; b) Tocantins-Araguaia. Fonte: Os autores.

Na Macrorregião Nordeste Mato-grossense, predomina o clima tropical quente e subúmido, com inverno seco, classificado como Aw, conforme o sistema de Köppen-Geiger (Peel et al., 2007; Alvares et al., 2013). As temperaturas médias anuais variam entre 24 °C e 26 °C, e a pluviosidade média anual situa-

se entre 1750 mm e 2250 mm (INMET, 2025). A citada macrorregião é composta por 22 municípios, apresentados na Figura 2.

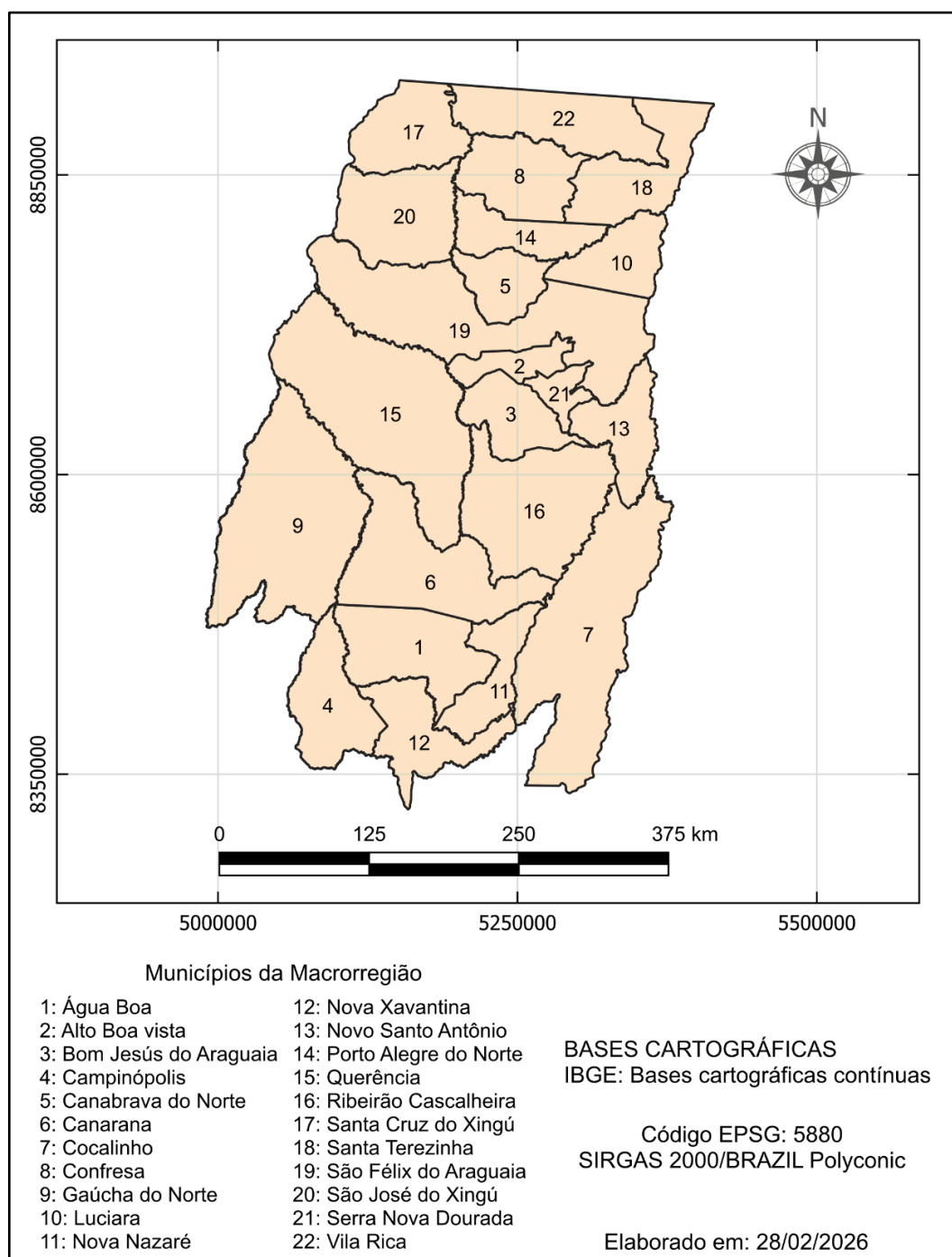


Figura 2. Localização dos municípios integrantes da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso.
 Fonte: Os autores

Foram utilizados arquivos vetoriais contendo as divisas estaduais e os limites municipais do território nacional, bem como a rede hidrográfica principal do Brasil, disponibilizados nas bases cartográficas contínuas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), acessadas por meio do Portal de Geociências, e no portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (IBGE, 2026; ANA, 2026). Adicionalmente, foi empregada a Base Hidrográfica Ottocodificada

multiescalas – BHO 2017, especificamente as camadas de áreas de contribuição hidrográfica (ACH) correspondentes aos níveis hierárquicos Otto 1 e 4, obtidas no portal de metadados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), em formato GeoPackage (ANA, 2026).

As bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4) foram adotadas devido ao seu nível de detalhamento e à extensão territorial. O padrão hierárquico 4 representa um nível intermediário de agregação hidrográfica, adequado à escala municipal, evitando excessiva fragmentação dos níveis superiores e generalização desnecessária dos níveis inferiores. As etapas de processamento espacial foram realizadas no software QGIS (versão 3.40.7), adotando-se o sistema de referência SIRGAS 2000 (QGIS, 2025).

As ferramentas de geoprocessamento disponíveis no QGIS possibilitaram a execução das seguintes operações espaciais: recorte, interseção, dissolução, união, cálculo de áreas, extração por localização, reprojeção de camadas e conversão vetorial. Inicialmente, realizou-se a interseção espacial entre os limites municipais e as áreas de contribuição hidrográfica (ACH) de nível 4, seguida do cálculo das áreas resultantes. Posteriormente, determinaram-se o número de BHO4 incidentes em cada município, a área correspondente de cada Região Hidrográfica inserida nos limites municipais e suas respectivas proporções relativas.

Na sequência, os procedimentos estatísticos foram conduzidos no software R (versão 4.2.3) (0-). Calcularam-se estatísticas descritivas das áreas hidroterritoriais inseridas na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. Além disso, determinaram-se as proporções de inserção dos municípios em cada BHO4 e, reciprocamente, das BHO4 nos municípios. A análise possui caráter descritivo-exploratório, visando caracterizar a organização hidroterritorial, não tendo como objetivo estabelecer relações causais ou inferenciais.

Para identificar as unidades hidrográficas de maior representatividade territorial em cada município e reduzir o volume de informações nas tabelas, adotou-se como critério de seleção o terceiro quartil (Q3) da distribuição das áreas, considerando-se apenas as BHO4 com valores iguais ou superiores a esse limiar. Ressalta-se que a adoção do terceiro quartil teve finalidade analítica e sintética, não implicando desconsideração da relevância hidrológica das demais unidades.

Com o objetivo de sintetizar as informações relativas aos cursos d'água presentes na macrorregião de estudo, estabeleceram-se três classes segundo o comprimento dos canais: (i) eixos estruturadores de drenagem; (ii) rios principais, com extensão igual ou superior a 200 km; e (iii) rios secundários, com extensão entre 100 e 200 km. Os eixos estruturadores de drenagem correspondem aos canais troncais de maior extensão e conectividade regional, responsáveis pela integração dos principais sistemas hidrográficos da macrorregião. Esses cursos d'água foram representados cartograficamente, sendo que apenas as duas primeiras classes foram apresentadas em tabelas. Tais procedimentos tiveram como finalidade oferecer uma visão sintética da organização hidrográfica regional, evidenciando as conexões entre os principais canais de drenagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial das bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4) e sua relação com os limites municipais na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, evidenciando as porções territoriais inseridas nas Regiões Hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia. Observa-se que apenas os municípios de Gaúcha do Norte, Querência, Santa Cruz do Xingu e São José do Xingu pertencem exclusivamente à Região Hidrográfica Amazônica. Por outro lado, os municípios de Cocalinho, Luciara, Novo Santo Antônio, Santa Terezinha e Serra Nova Dourada estão integralmente inseridos na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Os demais municípios distribuem-se entre ambas as regiões hidrográficas.

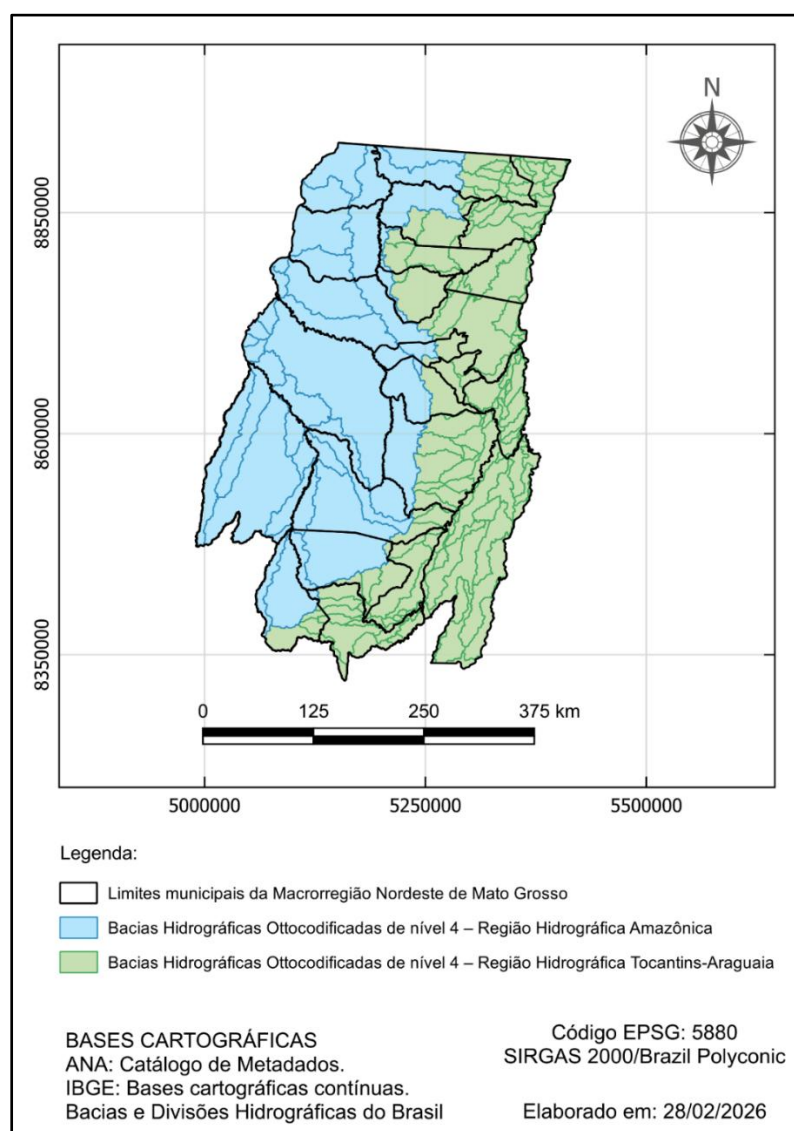


Figura 3. Sobreposição entre limites municipais e bacias hidrográficas Ottocodificadas de nível 4 (BHO4) na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, indicando a inserção territorial nas Regiões Hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia. Fonte: Os autores.

Conforme apresentado na Figura 3, a maior parte da área territorial da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso encontra-se inserida na Região Hidrográfica Amazônica. Além disso, as bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 localizadas nessa região apresentam maiores dimensões espaciais, abrangendo

frequentemente mais de um município. Em contraste, na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia observa-se a presença de diversas unidades hidrográficas de nível 4 distribuídas em áreas relativamente menores, com destaque para os municípios de Cocalinho, Novo Santo Antônio e Santa Terezinha, que apresentam várias BHO4 inseridas integralmente em seus limites territoriais (Figura 3). Essa distribuição evidencia a complexidade da gestão hídrica regional, uma vez que parte expressiva dos municípios compartilha unidades hidrográficas com mais de uma região hidrográfica de referência.

Com o objetivo de quantificar a distribuição espacial das bacias hidrográficas na área de estudo, elaborou-se a Tabela 1, que apresenta a síntese das bacias hidrográficas otocodificadas de nível 4 (BHO4) por município na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. De acordo com essa Tabela, observa-se predomínio da Região Hidrográfica Amazônica, com 53,82% de participação territorial, destacando-se os municípios de Canarana, Gaúcha do Norte, Querência e São Félix do Araguaia, nos quais ocorrem 6, 11, 10 e 5 bacias hidrográficas otocodificadas de nível 4, respectivamente. Ressalta-se, ainda, que os municípios de maior extensão territorial foram Gaúcha do Norte e Querência, ambos totalmente inseridos nessa região hidrográfica. Por outro lado, Canarana e São Félix do Araguaia apresentaram inserção parcial, correspondendo a 86,53% e 58,37% de suas áreas territoriais, respectivamente.

Tabela 1. Síntese das bacias hidrográficas otocodificadas de nível 4 por município na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. Fonte: Os autores.

Dados do município		Região Hidrográfica Amazônica			Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia		
Nome	Área (km ²)	Nº de BHO	Área (km ²)	Área relativa (%)	Nº de BHO	Área (km ²)	Área relativa (%)
Água Boa	7510,63	3	5253,96	69,95	10	2256,67	30,05
Alto Boa Vista	2240,44	2	1316,86	58,78	2	923,58	41,22
Bom Jesus do Araguaia	4274,22	2	2603,72	60,92	2	1670,50	39,08
Campinápolis	5981,71	2	4261,61	71,24	5	1720,10	28,76
Canabrava do Norte	3452,68	1	503,42	14,58	3	2949,27	85,42
Canarana	10882,38	6	9416,83	86,53	4	1465,55	13,47
Cocalinho	16516,32	0	0,00	0,00	32	16516,32	100,00
Confresa	5801,94	1	2949,34	50,83	7	2852,60	49,17
Gaúcha do Norte	16934,30	11	16934,30	100,00	0	0,00	0,00
Luciara	4243,03	0	0,00	0,00	11	4243,03	100,00
Nova Nazaré	4037,50	1	6,12	0,15	17	4031,38	99,85
Nova Xavantina	5530,39	1	116,00	2,10	23	5414,40	97,90
Novo Santo Antônio	4393,80	0	0,00	0,00	24	4393,80	100,00
Porto Alegre do Norte	3972,26	1	387,83	9,76	6	3584,42	90,24
Querência	17786,20	10	17786,20	100,00	0	0,00	0,00
Ribeirão Cascalheira	11354,81	1	3352,61	29,53	14	8002,19	70,47
Santa Cruz do Xingú	5651,76	3	5651,76	100,00	0	0,00	0,00
Santa Terezinha	6466,89	0	0,00	0,00	31	6466,89	100,00
São Félix do Araguaia	16713,48	5	9755,03	58,37	16	6958,44	41,63
São José do Xingú	7459,65	3	7459,65	100,00	0	0,00	0,00
Serra Nova Dourada	1500,39	0	0,00	0,00	3	1500,39	100,00
Vila Rica	7431,52	2	3817,45	51,37	14	3614,07	48,63

Dados do município		Região Hidrográfica Amazônica			Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia		
Nome	Área (km ²)	Nº de BHO	Área (km ²)	Área relativa (%)	Nº de BHO	Área (km ²)	Área relativa (%)
Totais	170136,28	55	91572,67	53,82	224	78563,61	46,18

Em relação à Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, destacaram-se os municípios de Cocalinho e Ribeirão Cascalheira, ambos entre os de maior extensão territorial, nos quais ocorrem 32 e 14 bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4, correspondendo a 100% e 70,47% de inserção territorial, respectivamente (Tabela 1). Observa-se também participação expressiva do município de São Félix do Araguaia, com 16 bacias, representando 41,63% de sua área inserida nessa região hidrográfica. Ressalta-se, ainda, que a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia apresenta municípios com elevado número de unidades hidrográficas de planejamento de nível 4, embora nem sempre associados a grandes extensões territoriais, como ocorre em Alto Boa Vista e Serra Nova Dourada (Tabela 1).

A Tabela 2 evidencia elevada variabilidade espacial das áreas territoriais municipais e das bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4) inseridas na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. Observa-se ampla discrepância entre os valores mínimos e máximos, refletida nas amplitudes expressivas registradas em todas as categorias analisadas, revelando a coexistência de unidades de pequena extensão e outras de grande porte territorial. Tal heterogeneidade é particularmente evidente na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, cuja amplitude ultrapassa 15500 km², apesar da presença de unidades com área mínima inferior a 1000 km². Adicionalmente, a comparação entre média e mediana demonstra que, em todas as categorias, a média apresenta valores superiores à mediana, o que sugere influência de áreas excepcionalmente elevadas sobre o comportamento central dos dados.

Tabela 2. Estatística descritiva das áreas territoriais municipais e das áreas hidrográficas inseridas na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. Fonte: Os autores.

Estatística	Município	Região hidrográfica	
		Amazônica	Tocantins-Araguaia
Unidades hidroterritoriais (-)*	22	55	224
Mínima (km ²)	1500,39	6,12	923,58
Máxima (km ²)	17786,20	17786,20	16516,32
Amplitude (km ²)	16285,81	17780,08	15592,74
Média (km ²)	7733,47	4162,39	3571,07
Mediana (km ²)	5891,83	2776,53	2900,94
Desvio padrão (km ²)	5046,39	5267,11	3704,72
Coeficiente de variação (%)	65,25	126,54	103,74
Curtose (-)	-0,18	1,91	6,43
Assimetria (-)	1,03	1,56	2,15

* Unidades hidroterritoriais corresponde ao número de municípios ou de bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4.

O comportamento estatístico das distribuições também é reforçado pelos coeficientes de assimetria e curtose (Tabela 2). Em todas as categorias analisadas, a assimetria foi positiva, com destaque para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (2,15) e para a Região Hidrográfica Amazônica (1,56), indicando predomínio de unidades com áreas relativamente menores e presença de poucas unidades com áreas muito superiores, caracterizando distribuições com cauda alongada à direita. Além disso, os valores de curtose reforçam a ocorrência de elevada concentração de dados associada à presença de valores extremos, especialmente na Tocantins-Araguaia (6,43), o que evidencia distribuição mais leptocúrtica e com maior ocorrência de outliers.

O padrão estatístico verificado na Tabela 2 mostra que poucas unidades hidrográficas ou territoriais de grande dimensão elevam a média, enquanto a maior parte das observações concentra-se em valores inferiores. Essas características junto com os resultados de assimetria e curtose corroboram a complexidade da configuração hidroterritorial regional, na qual coexistem unidades hidrográficas de planejamento com dimensões bastante contrastantes, aspecto relevante para a compreensão das desigualdades espaciais associadas à gestão e ao uso dos recursos hídricos. Esse aspecto teve maior relevância para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, na qual foi observado o maior número de bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4) com valores atípicos de extensão territorial.

Diante desse elevado grau de dispersão e assimetria observado, torna-se evidente que a simples comparação entre médias e valores globais não é suficiente para representar adequadamente a estrutura hidroterritorial da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, pois os resultados são fortemente influenciados por unidades com áreas excepcionalmente elevadas. Assim, visando destacar as unidades hidrográficas de maior relevância espacial e reduzir a interferência de valores extremos na interpretação dos resultados, adotou-se como critério de seleção o terceiro quartil (Q3) das áreas das bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4). Dessa forma, realiza-se uma análise mais direcionada das bacias de maior dimensão territorial e, conseqüentemente, mais expressivas do ponto de vista do planejamento e gestão dos recursos hídricos na área de estudo.

Com base nesse critério, elaborou-se a Tabela 3, na qual são apresentados os municípios e as respectivas bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 da Região Hidrográfica Amazônica pertencentes aos 25% superiores em termos de área. Destaca-se a BHO4 de código 4272, cuja área total é de 23720 km², valor superior à extensão territorial do município de Querência, o maior da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, com 17786,20 km² (Tabela 3). Observa-se que essa unidade hidrográfica abrange mais de 50% da área municipal de Querência e, adicionalmente, ocupa 14,13% do município de Ribeirão Cascalheira, o quinto em extensão territorial na área de estudo. Ressalta-se ainda que mais de 70% do território de Querência encontra-se inserido na citada bacia hidrográfica (Tabela 3).

Tabela 3. Municípios e bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, na Região Hidrográfica Amazônica, selecionados pelo critério do terceiro quartil de área.

Dados do município		Dados da bacia hidrográfica ottocodificada (BHO)				
Nome	Área (km ²)	Código	Área total (km ²)	Área no município (km ²)	Porcentagem (%)	
					BHO no município	Município na BHO
Canarana	10882,38	4294	2929,02	1907,26	65,12	17,53
		4296	8639,63	4179,71	48,38	38,41
Gaúcha do Norte	16934,30	4282	6222,43	2788,32	44,81	16,47
		4291	3543,80	2653,21	74,87	15,67
		4292	11805,24	8544,83	72,38	50,46
Querência	17786,20	4272	23720,16	12643,30	53,30	71,09
		4293	2629,21	1774,41	67,49	9,98
		4294	2929,02	1020,45	34,84	5,737
Ribeirão Cascalheira	11354,81	4272	23720,16	3352,61	14,13	29,53
São Félix do Araguaia	16713,48	4258	5431,00	3723,21	68,55	22,28
Totais	73671,17		91569,67	42587,31	57,81	46,51

Fonte: Os autores.

Outro aspecto relevante corresponde à BHO4 de código 4292, com área de 11805,24 km², associada principalmente ao município de Gaúcha do Norte, o segundo maior da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, com 16934,30 km². Verifica-se que aproximadamente metade da área total dessa bacia hidrográfica (50,46%) encontra-se inserida no referido município, enquanto 72,38% do território municipal está contido nessa unidade hidrográfica, evidenciando elevada dominância espacial da BHO4 sobre a configuração hidroterritorial local (Tabela 3). Em termos gerais, nota-se que as BHO4 selecionadas pelo critério do terceiro quartil concentram 57,81% da área total analisada, enquanto os municípios nelas inseridos ocupam 46,51% da superfície dessas bacias, evidenciando que tais unidades hidrográficas extrapolam significativamente os limites municipais.

A partir da aplicação do critério do terceiro quartil (Q3) às áreas das bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4), elaborou-se a Tabela 4, na qual são apresentadas as unidades pertencentes aos 25% superiores em termos de área, localizadas na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Destacam-se as BHO4 de códigos 6782 e 6951, com áreas de 7039,65 km² e 4052,14 km², respectivamente. Observa-se que a BHO4 6951 abrange 57,40% da superfície do município de Cocalinho, enquanto a BHO4 6782 ocupa 55,42% do município de São Félix do Araguaia (Tabela 4). Nota-se ainda que a terceira maior BHO4 apresenta menor representatividade territorial na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, ocupando apenas 12,23% da área municipal de Cocalinho e, por sua vez, recebendo deste município somente 2,58% de participação em sua área total.

Tabela 4. Municípios e bacias hidrográficas Ottocodificadas de nível 4 da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, selecionados pelo critério do terceiro quartil de área. Fonte: Os autores.

Dados do município		Dados da bacia hidrográfica ottocodificada (BHO)				
Nome	Área (km²)	Código	Área total (km²)	Área no município (km²)	Porcentagem (%)	
					BHO no município	Município na BHO
Canarana	10882,38	6836	1320,15	632,87	47,94	5,82
		6951	4052,14	2325,91	57,40	14,08
		6953	1569,69	987,17	62,89	5,98
		6922	1633,23	1631,22	99,88	9,88
Cocalinho	16516,32	6923	857,95	856,73	99,86	5,19
		6924	1481,86	1479,93	99,87	8,96
		6926	1518,84	1517,42	99,91	9,19
		6927	1881,97	1806,20	95,97	10,94
		6928	1331,05	1258,79	94,57	7,62
Ribeirão Cascalheira	11354,81	6824	1310,19	1305,79	99,66	11,50
		6828	903,54	902,76	99,91	7,95
		6829	1326,90	1325,77	99,92	11,68
		6831	1401,74	833,50	59,46	7,34
São Félix do Araguaia	16713,48	6782	7039,65	3901,52	55,42	23,34
		6784	1282,94	1100,91	85,81	6,59
		6786	3528,22	431,63	12,23	2,58
		6794	800,52	721,77	90,16	4,32
Totais	55466,99		33240,58	23019,89	41,50	69,25

O município de Cocalinho, quarto maior da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, destaca-se na Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia pela presença de quatro bacias hidrográficas ottocodificadas de nível 4 (BHO4), cujas áreas encontram-se majoritariamente inseridas em seu território (Tabela 4). As bacias correspondem aos códigos 6922, 6924, 6926 e 6927, com áreas de 1633,23 km², 1481,86 km², 1518,84 km² e 1881,97 km², respectivamente, das quais 99,88%, 99,87%, 99,91% e 95,97% encontram-se inseridas no referido município. Além disso, em Cocalinho localiza-se a BHO4 de código 6953, com área de 1569,69 km², da qual apenas 62,89% está contida no limite municipal, valor relativamente inferior quando comparado à contribuição territorial observada em outras unidades hidrográficas de menor superfície (Tabela 4).

Observa-se ainda que as BHO4 selecionadas pelo critério do terceiro quartil representam 41,50% da superfície total em estudo, enquanto os municípios nelas inseridos concentram 69,25% da área dessas bacias, indicando que tais unidades hidrográficas se encontram majoritariamente contidas dentro dos limites municipais (Tabela 4). Esse padrão de concentração espacial entre bacias hidrográficas e limites municipais reforça a relevância da delimitação hidroterritorial como subsídio ao planejamento e à gestão de recursos hídricos, especialmente para a análise da distribuição espacial das outorgas associadas às

atividades produtivas na região. Nesse sentido, destacam-se as outorgas destinadas à irrigação e à pecuária na Macrorregião Nordeste de Mato Grosso (BORGES et al., 2025a, 2025b).

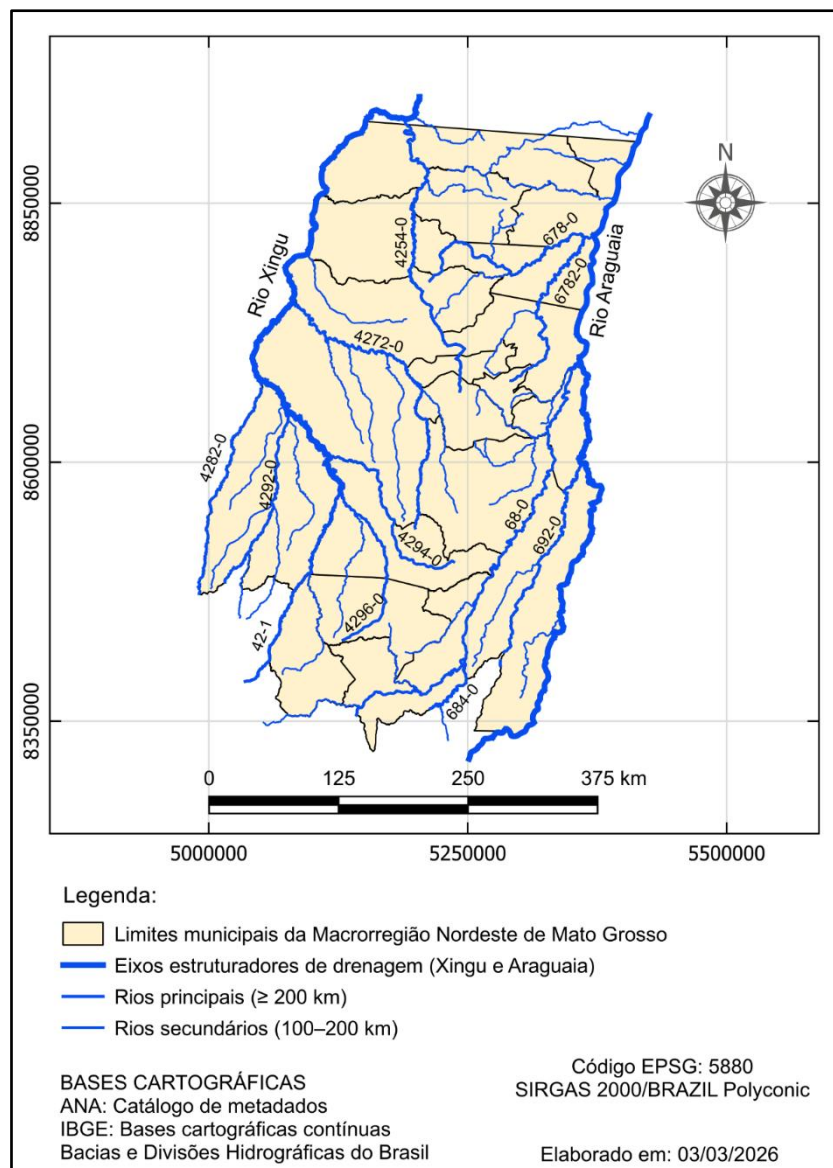


Figura 4. Hidrografia e principais eixos de drenagem da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso. Fonte: Os autores.

Após a análise da distribuição espacial e das relações hidroterritoriais entre municípios e bacias hidrográficas otocodificadas de nível 4 (BHO4) nas Regiões Hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia (Tabelas 3 e 4), torna-se pertinente aprofundar a caracterização da rede de drenagem associada a essas unidades. Nesse sentido, a Figura 4 apresenta a hidrografia da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, destacando os eixos estruturadores de drenagem e os principais cursos d'água, classificados conforme sua extensão. Essa representação permite compreender o papel dos grandes rios no ordenamento hidrográfico regional, bem como identificar os rios de maior e menor relevância espacial,

fornecendo subsídios importantes para a interpretação das bacias de planejamento e para a análise integrada da dinâmica territorial e da gestão dos recursos hídricos.

Na Figura 4, observa-se uma ampla rede fluvial distribuída por toda a Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, composta por cursos d'água de diferentes ordens e extensões. Destacam-se dois eixos estruturadores de drenagem: os rios Xingu e Araguaia. O rio Xingu nasce na Serra do Roncador, na área de estudo, e forma-se a partir da confluência dos rios Culuene e Sete de Setembro (CPRM, 2024). Trata-se de um dos principais afluentes da calha amazônica, integrado à extensa rede de drenagem da Região Hidrográfica Amazônica, a qual concentra grande parte da disponibilidade hídrica superficial do país (ANA, 2026). Ademais, o rio Xingu constitui limite municipal entre Gaúcha do Norte e Querência, conforme evidenciado na Figura 4.

O rio Araguaia integra a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, uma das 12 regiões hidrográficas estabelecidas no território nacional, caracterizada por possuir uma das maiores áreas de drenagem inteiramente brasileiras, desempenhando papel estrutural na hidrografia regional e na disponibilidade hídrica (ANA, 2026). O rio nasce na Serra do Caiapó e deságua no rio Tocantins, formando um sistema hidrográfico de grande relevância que conecta a Região Centro-Oeste ao Norte do Brasil. Além disso, constitui importante divisa natural, inicialmente entre os estados de Mato Grosso e Goiás, posteriormente entre Mato Grosso e Tocantins e, por fim, entre Pará e Tocantins (IBGE, 2021).

A Tabela 5 apresenta informações básicas dos dois eixos estruturadores de drenagem e dos principais cursos d'água com extensão superior a 200 km. Além desses, foram identificados 31 cursos d'água secundários (100–200 km), os quais foram representados cartograficamente na Figura 5, porém não detalhados em tabela, a fim de evitar excesso de conteúdo. Observa-se que o comprimento dos principais cursos d'água variou entre 200,44 km (Rio Pindaíba) e 428,64 km (Rio Suiá-Miçu ou Suiazão, exceto o Rio das Mortes com extensão de 1029,92 km, destacando-se como importante afluente do Rio Araguaia (Tabela 5).

Tabela 5. Principais cursos d'água da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, de acordo com a classe hidrográfica. Fonte: Os autores.

Característica hidrográfica		Informações do curso d'água		
Classe	Região	Código	Nome	Extensão (km)
Eixo estruturador de drenagem	Amazônica Tocantins-Araguaia	42_0	Rio Xingu	1892,46
		6_3	Rio Araguaia	2000,03
		4254_0	Rio Comandante Fontoura	423,56
Rios principais (≥ 200 km)	Amazônica	4272_0	Rio Suiá-miçu ou Suiazão	428,64
		4294_0	Rio Tanguro	221,66
		4296_0	Rio Sete de Setembro	201,24
		42_1	Rio Culuene	372,27
		4292_0	Rio Curisevo ou Coliseu	291,26

Característica hidrográfica		Informações do curso d'água		
Classe	Região	Código	Nome	Extensão (km)
	Tocantins-Araguaia	4282_0	Rio Tamitatoala ou Batovi	320,50
		678_0	Rio Tapirapé	271,68
		6782_0	Rio Xavantinho	265,18
		68_0	Rio das Mortes	1029,92
		692_0	Rio Cristalino	304,49
		684_0	Rio Pindaíba	200,44

Os resultados obtidos na presente pesquisa revelam que a Macrorregião Nordeste de Mato Grosso possui uma extensa rede de drenagem formada por dois eixos estruturadores: o Rio Xingu e o Rio Araguaia, inseridos nas Regiões Hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia, respectivamente. O Rio Xingu apresenta sete importantes afluentes distribuídos de norte a sul na porção pertencente à Região Hidrográfica Amazônica, enquanto o Rio Araguaia recebe a contribuição de cinco cursos d'água associados à Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, destacando-se o Rio das Mortes, o de maior extensão nessa categoria na área de estudo.

A nascente do Rio das Mortes localiza-se fora da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, passando a integrar a área de estudo a partir do município de Nova Xavantina, o qual atravessa até formar limite natural com o município de Nova Nazaré. Em seguida, atua como divisor entre os municípios de Cocalinho e Ribeirão Cascalheira. Finalmente, serve como limite entre Ribeirão Cascalheira e uma porção do município de Novo Santo Antônio, atravessando este último até desaguar no Rio Araguaia, classificado como um dos principais eixos estruturadores de drenagem da macrorregião analisada.

Salienta-se que a Macrorregião Nordeste de Mato Grosso tem experimentado uma expressiva expansão da fronteira agrícola e, portanto, a disponibilidade e a demanda hídrica devem ser monitoradas continuamente, apesar de contar com cursos d'água caudalosos. Estudos recentes têm demonstrado que o território não apresenta comprometimento significativo da disponibilidade hídrica para atividades agropecuárias (BORGES et al., 2025a, 2025b). Contudo, verifica-se um baixo número de estações fluviométricas nessa zona geográfica, o que dificulta a realização de pesquisas voltadas ao uso racional dos recursos hídricos, bem como a elaboração de modelos estatísticos para estimativa de vazões de permanência com maior precisão (BORGES et al., 2025c).

CONCLUSÕES

O nível 4 das bacias hidrográficas otocodificadas adotado neste estudo mostrou-se adequado às análises em escala municipal e regional, ao proporcionar equilíbrio entre resolução hidrológica e abrangência territorial, permitindo caracterizar a organização hidroterritorial da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso com consistência espacial.

O uso do terceiro quartil como critério de seleção revelou-se metodologicamente apropriado para destacar as unidades hidrográficas de maior expressão territorial, conferindo objetividade à síntese das informações.

A classificação dos cursos d'água segundo o comprimento possibilitou evidenciar a hierarquia funcional dos principais canais de drenagem e suas conexões estruturais no contexto regional.

Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos ao planejamento e ao monitoramento hídrico em escala municipal, especialmente no que se refere à gestão integrada das unidades hidrográficas.

Considerando a extensão territorial e a complexidade da rede de drenagem da macrorregião, destaca-se a necessidade de ampliação da rede de estações fluviométricas, de modo a aprimorar o acompanhamento hidrológico e subsidiar tomadas de decisão mais robustas.

Estudos futuros poderão incorporar análises hidrológicas dinâmicas e séries históricas de vazão, aprofundando a compreensão funcional e temporal do sistema hidrográfico regional.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por permitir a consulta de dados climáticos dos municípios da Macrorregião Nordeste de Mato Grosso, Brasil. Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pela permissão às bases cartográficas contínuas. De igual forma, os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), portal HidroWEB, pela possibilidade de obter os arquivos vetoriais com os cursos de água de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 6, 711–728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2007). Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil. *Caderno de Recursos Hídricos*. Volume 4. Brasília. 168p.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2011). Outorga de direito de uso de recursos hídricos. *Cadernos de capacitação em recursos hídricos*, v6. Brasília. 54p.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2026). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Portal HidroWeb. [https://www.snirh.gov.br/hidroweb/series históricas](https://www.snirh.gov.br/hidroweb/series-historicas)
- Borges, P. H. M., Mendoza, Z. M. dos S. H. & Moraes, P. H. M. (2025a). Outorgas de direito de uso de recursos hídricos para irrigação na Macrorregião Nordeste Mato-grossense. *Brazilian Journal of Development*, 11, 8, 1–14. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv11n8-023>

- Borges, P. H. M., Mendoza, Z. M. dos S. H. & Moraes, P. H. M. (2025b). Outorgas de direito de uso de recursos hídricos para pecuária na Macrorregião Nordeste Mato-grossense. *Revista FOCO*, 18, 12, 1–13. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n12-035>
- Borges, P. H. M., Mendoza, Z. M. dos S. H. & Moraes, P. H. M. (2025c). Modelagem pela distribuição Gumbel de vazões mínimas anuais na Macrorregião Nordeste Mato-grossense. *Revista FOCO*, 18, 7, 1–19. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n7-032>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23, v. 10. Brasília: CONAB, 2023.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Base de dados hidrológicos e estudos hidrográficos do Brasil. Brasília: CPRM, 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2026). Bases Cartográficas Contínuas. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Bacias e divisões hidrográficas do Brasil. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html>
- IMEA - Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. Mapa das macrorregiões. (2017). Cuiabá-MT. <https://www.imea.com.br/imea-site/view/uploads/metodologia/justificativamapa.pdf>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. (2025). BDMEP: Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília. 2025. <https://bdmep.inmet.gov.br/>
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. (2007). Updated world of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 5, 1633-1644. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Porto, M. F. A.; Porto, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos avançados*, 22, 63, 43-60. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. (2025). QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. Versão 3.40.7-Bratislava. <https://qgis.org>
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. <https://www.r-project.org>
- Tucci, C. E. M. (2004). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Editora: Editora: ABRHidro. 943p.

Silício biogênico como alternativa sustentável no tratamento de sementes de arroz

Recebido em: 10/03/2026

Aceito em: 28/03/2026

 10.46420/9786585756808cap2

Daisy Leticia Ramírez Monzón 

Ernesto José Bernal Gini 

Maria Johana Gonzalez 

Jadiyi Concepción Torales Salinas 

INTRODUÇÃO

A produção mundial de cereais no mundo no ano 2025 alcançou um nível recorde, a produção atingiu 4,4% em comparação com o ano de 2024. Espera-se que o arroz apresente um aumento significativo do 2,2%, atingindo um novo recorde de 215,4 milhões de toneladas (FAO, 2025)

Assim mesmo no Paraguai tem aumentado significativamente nos últimos tempo, sendo que na safra 2024/25 marco um recordem histórico superando os 1,4 milhos de toneladas. Considerando que para cada 1 kg de arroz produzido, se produz 0,28 kg aproximadamente de resíduos de casca de arroz (Siddika et al., 2021), por tanto, uma quantidade enorme de resíduos e produzida anualmente.

A produção de sementes de arroz de alta qualidade enfrenta desafios importantes devido ao aumento continuo na produção de alimentos, especialmente, porque é um alimento básico. Problemas como estresse hídrico e condições climáticas extremas, como secas ou chuvas excessivas, podem comprometer a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas, tornando a casca de arroz um recurso alternativo renovável e abundante (Hamidu et al., 2025).

O uso de resíduos agrícolas como a cinza obtida da casca de arroz (CCA) tem se encontrado uma variedade de uso na atualidade, fornecendo um material precursor barato além de melhor consumo de energia e ecologicamente correto para a síntese de sílica amorfa (Liou; Yang, 2011), além de se tornado uma estratégia viável, desde o ponto de vista econômico e ambiental, o qual, e obtido após a combustão completa da casca de arroz, obtendo nesse processo de 20 a 25% de cinza de casca de arroz (CCA) em peso (Siddika et al., 2018), decorrente do processo é obtido o silício biogênico, o qual está presente na forma de sílica amorfa que é a forma de Si mais disponível (Bansal et al., 2022). O uso do silício não é considerado essencial para a maioria das plantas, no entanto, esse elemento pode influenciar a relação planta-água, na elasticidade e plasticidade da parede celular (Mukarram, Khan e Corpas, 2021).

O tratamento de sementes com silício tem presentado evidências de que melhora a germinação das sementes considerado como um candidato ideal para o condicionamento nas sementes (Kumar et al., 2025). Sun et al. (2019), afirma que o tratamento com sílico pode promover o crescimento do arroz, boa germinação. Do mesmo modo Ahmed et al. (2023), utilizando nanopartículas de silício biogênico

observaram que tem umas implicações ambientais significativas, visto que o uso do silício biogênico em plantas pode oferecer estratégias ecologicamente corretas para a desintoxicação de cádmio em solos contaminados.

Na atualidade, a busca de tratamentos alternativos a base de silício biogênico a tomado um crescimento cada vez maior, já que a casca de arroz é considerada como um recurso muito valioso. Conforme Schaller et al. (2021), Akca et al. (2023) e Gunes et al. (2025), o silício derivado da casca de arroz é um silício biogênico em forma amorfa, o qual pode server como uma fonte de silício, mas eficaz para atender as necessidades dos cultivos e aumentar a tolerância a fatores bióticos e abióticos.

Utiliza-lo no recobrimento de sementes de forma adequada minimiza o risco de infestação de insetos e enfermidades o que relentada o processo de envelhecimento. A busca por fertilizantes alternativos com silício biogênico é de crescente importância. Neste contexto o estudo foi desenhado para identificar a dosagem de silício biogênico no recobrimento de sementes de arroz e o efeito na qualidade fisiológica, e avaliar a eficiência da dosagem no desenvolvimento inicial do arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições experimentais e material vegetal

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Sementes da Facultad de Ingenieria Agronomia da Universidad Nacional del Este – Alto Parana, Paraguay. Foram utilizadas sementes de arroz da variedade cultivar IRGA 424 RI. No total, 800 sementes foram analisadas, distribuídas em cinco dose e quatro repetições (ISTA, 2017). Cada repetição consistiu em 50 sementes, sendo considerada a unidade experimental.

Obtenção do silício biogênico

Para obtenção do silício biogênico procedeu-se a utilização da casca de arroz (CCA) o qual foi calcinado em muflas a temperaturas entre 500 a 800 °C. Posteriormente foi realizado a quantificação do SiO₂ o qual, foi realizada pela técnica de fonte isotópica de nêutrons Michajluk et al. (2019), onde foi quantificado que o silício biogênico continha uma concentração de 96,5% de SiO₂.

Tratamento e recobrimento das sementes

O experimento foi conduzido em delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco doses de silício biogênico (0; 32,6; 65,2; 97,8; 120 g) e quatro repetição. As sementes testigo não foram acrescentado o silício biogênico pero sim foi realizado o recobrimento com a finalidade que todas as sementes tenham o mesmo recobrimento. O recobrimento foi realizado seguindo a metodologia utilizada por Nunes (2005), que consiste num método manual em sacos plásticos (3L), utilizando um *film coating* para os tratamentos, as sementes foram postas para secar a temperatura ambiente por um período de 24 horas.

Avaliação da qualidade fisiológica

Posteriormente a realização do recobrimento, as sementes foram distribuídas em rolos de papel e humedecidas com água destilada (2,5 vezes o peso do papel). Cada rolo continha 200 sementes (quatro repetições de 50 sementes) por tratamento, conforme as *International Seed Testing Association* (ISTA, 2017). Os rolos de papel foram colocados em câmara de germinação a $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

As variáveis avaliadas foram primeira contagem de germinação realizado conjuntamente ao teste de germinação, sendo a contagem de plântulas normais executada aos 5 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais. A porcentagem de germinação, a contagem foi realizada aos 10 dias após a semeadura conforme as ISTAS (2017), e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

O comprimento da parte aérea e raiz a medição foi realizada aos oito dias após a semeadura, tomando como amostra dez plântulas normais em cada unidade experimental. Tais plantas foram retiradas do rolo de germinação obedecendo a ordem da esquerda para a direita sem escolha premeditada. Avaliaram-se de forma particularizada o Comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz (CR), por intermédio de uma régua graduada em mm, tendo expressado os resultados em centímetros. Para a variável de massa fresca e seca das plântulas a avaliação foi realizada aos 8 dias após. Foram retiradas do rolo de germinação 10 plântulas normais. A parte aérea foi separada da parte da radícula e dos cotilédones, é colocada para secar em estufa com ventilação forçada a 65°C até peso constante, durante 24 horas. Posteriormente, foi realizada a pesagem em balança de precisão e os resultados expressos em gramas.

O índice de velocidade de germinação (IVG), foi realizado com contagens diárias de plântulas normais no teste de germinação com intervalos de 24 horas a partir da constatação da primeira plântula normal e calculado conforme Maguire (1962) pela equação $IVG = (G1/N1) + (G2/N2) + (Gn/Nn)$, em que G é o número de plântulas germinadas observadas em cada contagem, e N, o número de dias da semeadura a cada contagem.

Os dados da primeira contagem de germinação e germinação das sementes foram transformados usando a transformação de raiz quadrada do arco-seno ($\sqrt{x/100}$). Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância. A média dos dados foi analisada pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SAS Project 4.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação das diferentes doses de silício biogênico na Tabela 1 são apresentados os resultados do ANOVA. Observou-se que para as variáveis de germinação (GER), comprimento da raiz (LR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa fresca da raiz (MFR), não manifestou diferenças significativas ($p>0,05$) pelo teste de Duncan. A diferencia dos resultados obtidos por Toledo et al. (2011), quem observe efeitos positivos no tratamento de sementes de aveia branca tratadas com silício. No entanto em este estudo, não observamos nenhum efeito do silício biogênico na germinação das sementes de arroz.

Em sementes de milho, o uso de silício aumento a largura e peso seco das plântulas de milho (Sun et al., 2021), resultados similares foram obtidos em esta pesquisa.

Tabela 1. Resumo do ANOVA das cinco doses de silício biogênico sobre a qualidade fisiologia de sementes de arroz recobertas.

FV*	G1	PCG* (%)	GER^{ns} (%)	LPA* (cm)	LR^{ns} (cm)	LTotal* (cm)	IVE *
Doses	4	7.75	7.3	1,006	1.06	2.21	61,07
Resíduo	15	2.66	3.06	0.33	0.77	1.12	16,63
Media	-	91.5	92.2	7.92	8.86	16.78	91,35
CV (%)	-	1.78	1.89	7.23	9.92	6.31	4,47

FV	G1	MSTotal* (gr)	MSR* (gr)	MSPA^{ns} (gr)	MFPA* (gr)	MFR^{ns} (gr)	MFTotal^{ns} (gr)
Doses	4	0.003	0.00004	0.000032	0.00083	0.0015	0.003
Resíduo	15	0.001	0.00000091	0.00002	0.0004	0.0013	0.0015
Media	-	0.171	0.035	0.056	0.112	0.059	0.1715
CV (%)	-	6.59	8.54	8.08	18.86	61.83	25.00

*FV: fonte de variação, CV: coeficiente de variação, PCG: primeira contagem de germinação, G: germinação, LPA: largura da parte aérea, LR: largura de raiz, Ltotal: Largura total, IVE: Índice de velocidade de emergência; MSTotal: Massa seca total, MSR: Massa seca da raiz, MSPA: Massa seca da parte aérea, MFPA: Massa fresca da parte aérea, MFR: Massa fresca da raiz, MFTotal: Massa fresca total. Ns: não significativo, *significativo para o teste de Duncan ao 5%.

Na Figura 1 apresenta-se a variável de primeira contagem de germinação (PCG), o qual foi significativamente influenciado pelas doses apresentando diferencas significativas para o Duncan al 5%, pode ser observado que a dose 97,8 g foi estatisticamente diferente a dose 32,6 g, mostrando que não todas as doses de silício biogênico favoreceram a primeira contagem de germinação. No entanto a dose de 97,8 e 120 g são os que se apresentam um potencial significativo da germinação. Resultados similares foram obtidos por Silva (2021), onde as variáveis de PCG apresentou diferencas significativas nas doses crescentes, no entanto a variável de GER não apresentou diferencas para o teste de Tukey ao 5%, comportamento similar foram observados em esta pesquisa. Diferentemente dos resultados encontrados, de Oliveira et al. (2016), avaliaram a qualidade fisiológica de sementes de arroz recobertas com silício não observaram diferencas significativas na variável de primeira contagem de germinação na interação fonte e dose. Do mesmo modo Fonseca (2012), não observou diferença significativa para os testes PCG e TF, com acréscimo das doses de silicato de alumínio em sementes de trigo.

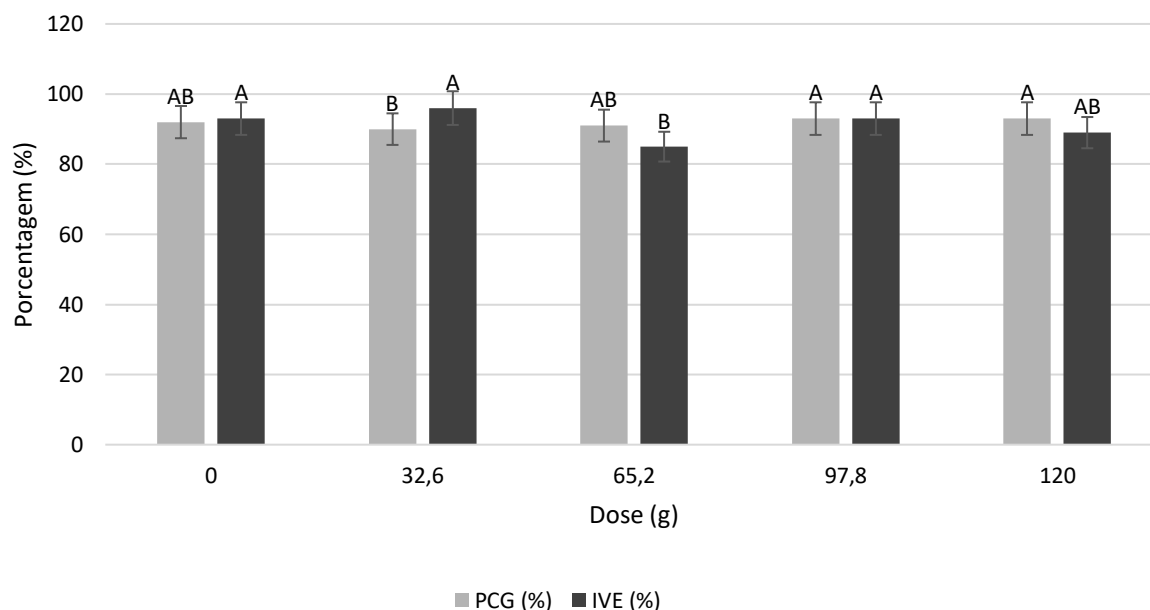


Figura 1. Primeira contagem de germinação (PCG) e índice de velocidade de germinação (IVE) em função de diferentes doses de silício biogênico no tratamento de semente de trigo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: os autores

Na avaliação do IVE (Figura 1), a dose de 32,6 g foi superior aos demais, e verificou-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Deste modo podemos afirmar que o uso de silício biogênico na produção agrícola atua no aumento de plantas normais assim como na primeira contagem de germinação (PCG) e no índice de velocidade de germinação (IVE). Dos Santos et al. (2020), afirma que o silício proporciona numa maior produção pelo aumento da resistência promovida pelo elemento as plântulas.

No entanto na variável de comprimento da parte aérea (LPA) e comprimento total (LTotal), apresentaram diferenças significativas entre as doses (Figura 2), no comprimento da parte aérea (LPA), observou-se diferença significativa entre tratamentos ($p \leq 0,05$), onde a dose de 120 g apresentou desempenho superior, diferindo estatisticamente das doses (0; 32,6; 65,2 g). Em relação com o comprimento da raiz (LR), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$), indicando que o desenvolvimento radicular não foi estatisticamente influenciado pela variação da dose de silício biogênico. Ferrari da Silva et al. (2025), estudando o efeito de silício no comprimento de plântulas de sementes de soja, para a variável de comprimento da parte aérea e da raiz observou diferenças significativas entre as doses crescentes de silício onde a testemunha foi o que se apresentou melhor em relação as doses de silício. Do mesmo modo, Tripathi et al. (2021), observou efeitos nas características morfológicas da raiz em plantas de arroz quando foram aplicados concentração de silício.

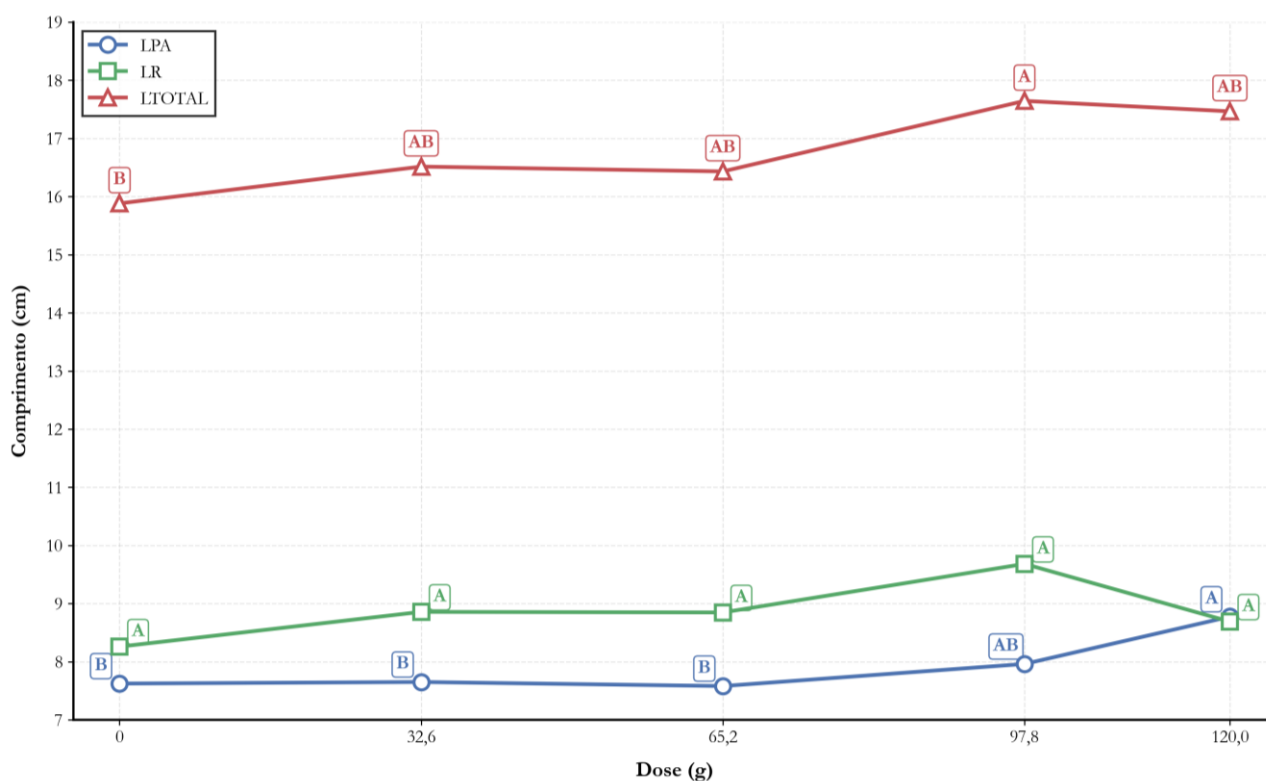


Figura 2. Médias do comprimento da parte aérea (LPA), do comprimento das raízes (LR), comprimento total (LTOTAL) em função das diferentes doses para o tratamento de sementes de arroz (0; 32,6; 65,2; 97,8 y 120 g). Fonte: os autores.

A variável de comprimento total (LTOTAL) (Figura 2), diferiu estatisticamente do controle (0 g), enquanto a dose de 120 g apresentou desempenho intermediário, sem diferença significativa em relação à dose de 97,8 g. Diferindo dos resultados apresentados por Ferrari da Silva et al. (2025), que observaram que o tratamento ausente de aplicações apresentou melhores médias. No entanto Sousa et al. (2009), demonstraram que a altura da planta foi influenciada pelos tratamentos a base de silício, no entanto o crescimento da raiz não respondeu ao tratamento. Dados que coincidem com os resultados apresentados nesta pesquisa.

Observou-se que as plantas apresentaram médias superiores quando utilizado o silício biogênico. Na figura 3 pode ser evidenciado que as doses modulam de maneira diferenciada os componentes de biomassa das plântulas e apresentam diferenças significativas ($p \leq 0,05$). Para a MS Total a dose 32,6 g apresentou diferenças em comparação com as doses 65,2 g com uma diferença de 0,014 g entre doses. No entanto, na variável de MSR aumentou significativamente para Duncan ao 5%, onde 32,6 g se apresentou estatisticamente diferente aos demais tratamentos. Para MFPA, o controle foi o que apresentou maior média, mais estaticamente similar aos tratamentos de 32,6; 97,8 e 120 g, sugerindo alteração na dinâmica de alocação no componente hídrico da biomassa fresca. Ramírez-Olvera et al. (2021), sometendo plantas de arroz tratadas com silício a estresse por polietilenoglicol (PEG), observou que plantas que foram tratadas com silício não afetou a altura em comparação com a testemunha.

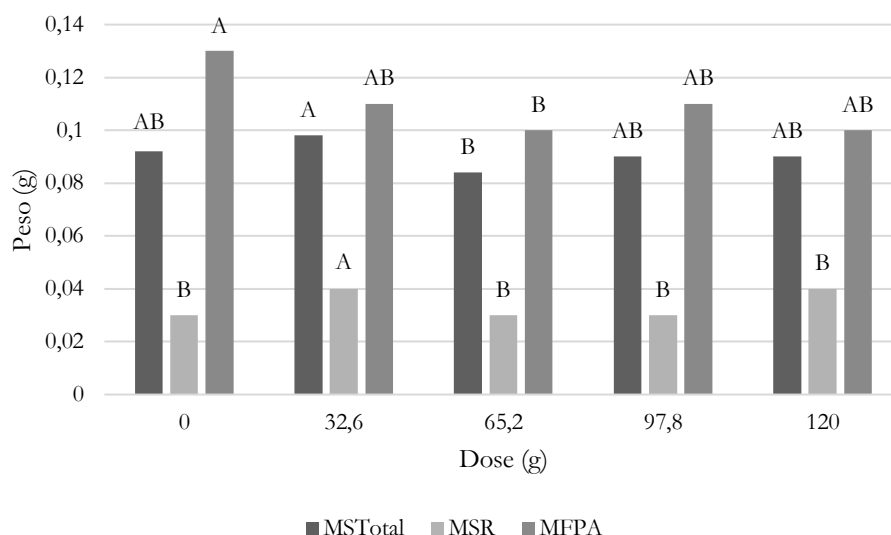


Figura 3. Médias do peso da massa seca Total (MSTotal), massa seca da raiz (MSR) e massa fresca da parte aérea (MFPA) em função das diferentes doses de silício biogênico recobertas em sementes de arroz. Fonte: os autores

Trabalhos realizados por Guo et al. (2006), aplicaram silício em alfafa teve um aumento significativo nas variáveis de área foliar, altura da planta, número de caules e a biomassa total. Do mesmo modo, Ramírez-Olvera et al. (2021), observaram que o peso da biomassa fresca da parte aérea e raiz submetida a estresse osmótico aumento significativamente em comparação a plantas sem tratamento com silício em comparação a plantas que não foram tratadas com silício. Nesta pesquisa foi possível observar que a doses de silício biogênico tem um efeito benéfico no tratamento de sementes, no entanto é preciso realizar mais pesquisas identificar plenamente a dosagem para cada cultivar.

CONCLUSÃO

O tratamento das sementes de arroz utilizando diferentes dosagem de silício biogênico, foi possível identificar que a dosagem de 97,8 g foi a que apresentou o melhor desempenho fisiológico integrado, o qual, promoveu o maior vigor inicial, crescimento equilibrado e adequada alocação de biomassa, sem comprometer a germinação da semente. Estes resultados, destaca a eficiência do tratamento de sementes com silício biogênico como uma estratégia simples, baixo custo e sustentável para o produtor de arroz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, T., Masood, H. A., Noman, M., Al-Huqail, A. A., Alghanem, S. M., Khan, M. M., ... & Li, B. (2023). Biogenic silicon nanoparticles mitigate cadmium (Cd) toxicity in rapeseed (*Brassica napus* L.) by modulating the cellular oxidative stress metabolism and reducing Cd translocation. *Journal of Hazardous Materials*, 459, 132070. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132070>

- Akca H, Taskin MB, Gunes A (2023) Phosphorus makes silicon fertilization mandatory: effect of nano-silicon on the one-sided antagonisms of phosphorus fertilization in wheat–maize and maize-maize cropping system. *J Soil Sci Plant Nutr*. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01460-8>
- Bansal K, Hooda V, Verma N et al (2022) Stress alleviation and crop improvement using silicon nanoparticles in agriculture: a review. *Silicon* 14:10173–10186. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-01755-y>
- De Oliveira, S., Brunes, A. P., Lemes, E. S., Tavares, L. C., Meneghello, G. E., Leitzke, I. D., & Mendonça, A. O. (2016). Tratamento de sementes de arroz com silício e qualidade fisiológica das sementes. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(2), 202-209. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA15083>
- dos Santos, C. M. G., Trovato, V. W., do Nascimento Matos, A. M., do Mar, G. D., Capristo, D. P., dos Santos Silva, J. A., & da Silva, B. N. P. (2020). Efeito da aplicação de silício na germinação de sementes de pimenta sob estresse salino. *Research, Society and Development*, 9(8), e248985442-e248985442. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5442>
- FAO. 2025. Perspectivas de cosechas y situación alimentaria. Informe mundial trianual, n.º 3, noviembre de 2025. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd7441es>
- Ferrari da Silva, W. De Merlo P.O. Bontempo, R.C. De Lima, L.M, Da Silva C.I. (2025). *Perspectivas futuras para as Ciências Agrárias: desafios e inovações*. E-book: Editora Atenas Perspectivas futuras para as Ciências Agrárias: desafios e inovações. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.6492524011>
- Fonseca, D.A.R. (2012) - Desempenho de sementes de trigo recobertas com silicato de alumínio. Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas. 58 p.
- Gunes A, Akca H, Taskin MB, Kan S, Deniz Yagcioglu K, Kadioglu YK, Karaboya O (2025) Phosphorus and silicon interactions in plants: the role of biogenic nano-silicon and its composites on silicon and phosphorus nutrition of maize and rice plants. *J Plant Nutr Soil Sci* 0:1–10. <https://doi.org/10.1002/jpln.70023>
- Guo, Z. G., Liu, H. X., Tian, F. P., Zhang, Z. H., & Wang, S. M. (2006). Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfalfa (*Medicago sativa*). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(9), 1161-1166. DOI:10.1071/EA05117
- Hamidu, I., Afotey, B., Kwakye-Awuah, B., & Anang, D. A. (2025). Synthesis of silica and silicon from rice husk feedstock: A review. *Heliyon*, 11(4).
- International seed testing association (ISTA). (2017). Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas. Zürichstr. 50, CH-8303 Bassersdorf, SU.
- Kumar, A., Choudhary, A., Kaur, H., Singh, K., Guha, S., Choudhary, D. R., ... & Husen, A. (2025). Exploring the role of silicon in enhancing sustainable plant growth, defense system, environmental stress mitigation and management. *Discover Applied Sciences*, 7(5), 406.

- Liou, T. H., & Yang, C. C. (2011). Synthesis and surface characteristics of nanosilica produced from alkali-extracted rice husk ash. *Materials science and engineering: B*, 176(7), 521-529. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2011.01.007>
- Maguire, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 1962; 2: 176-177. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Michajluk B. Gómez, R. Bóveda, L, Gonzalez, Y., Cabello J. (2019). Evaluación preliminar del contenido de silicio en hojas y tallos de *Saccharum officinarum*, “caña de azúcar” a través de técnicas analíticas nucleares. *Rojasiana*. 18 (1), 9-14.
- Mukarram M, Khan MMA, Corpas FJ. 2021. Silicon nanoparticles elicit an increase in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) Wats) agronomic parameters with a higher essential oil yield. *J. Hazard. Mater.*, 412:125254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125254>
- Nunes, J. C. Tratamento de semente - qualidade e fatores que podem afetar a sua performance em laboratório. Syngenta Proteção de Cultivos Ltda. 2005. 16p.
- Ramírez-Olvera, S. M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Ruíz-Posadas, L. D. M., Alcántar-González, E. G., & Saucedo-Veloz, C. (2021). Silicon stimulates plant growth and metabolism in rice plants under conventional and osmotic stress conditions. *Plants*, 10(4), 777.
- Schaller J, Puppe D, Kaczorek D et al (2021) Silicon cycling in soils revisited. *Plants* 10:295. <https://doi.org/10.3390/plants10020295>
- Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., & Mohammadhosseini, H. (2021). State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 33(5), 294-307. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.10.006>
- Siddika, A., Mamun, M. A. A., & Ali, M. H. (2018). Study on concrete with rice husk ash. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0127-6>
- Silva, E. F. D. (2021). Germinação e vigor de sementes de soja tratadas com silício. VII congresso internacional das ciencias agrarias ISSN 2526 7701
- Souza, L. C. F.; Zanon, G. D.; Pedroso, F. F.; ANDRADE, L. H. L. (2009). Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. *Ciência e Agrotécologia*, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-1593. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000600018>
- Software SAS (*Statistical Analysis System*) (SAS Institute Inc., Cary, NC) <http://www.sas.com>
- Sun, Y., Xu, J., Miao, X., Lin, X., Liu, W., & Ren, H. (2021). Effects of exogenous silicon on maize seed germination and seedling growth. *Scientific reports*, 11(1), 1014.
- Sun, D. Q., Lu, X., Hu, Y., Li, W., Duan, Y., Pang, Z., & Hu, H. (2019). Research progress of silica nanoparticle effects on the growth and development of plants. *Chin. J. Trop. Crops*, 40(11), 2300-2311. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2019.11.028

- Toledo, M.Z., Garcia, R.A., Merlin, A., Fernandes, D.M., 2011. Seed germination and seedling development of white oat affected by silicon and phosphorus fertilization. *Sci. Agr.* 68, 18e23. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100003>
- Tripathi, P., Subedi, S., Khan, A. L., Chung, Y. S., & Kim, Y. (2021). Silicon effects on the root system of diverse crop species using root phenotyping technology. *Plants*, 10(5), 885. <https://doi.org/10.3390/plants10050885>

Aplicação do ácido salicílico (AS) sobre o desenvolvimento, fisiologia e a produtividade de plantas

Recebido em: 16/05/2026

Aceito em: 17/05/2026

 10.46420/9786585756808cap3

Cristiano Pereira da Silva 

Tatiana Gonçalves de Lima 

Dayse Centurion da Silva 

INTRODUÇÃO

A tolerância das plantas ao estresse hídrico e salino estão relacionados à capacidade de manterem seu crescimento e desenvolvimento mesmo em condições de baixa disponibilidade de água no solo. A resistência ao déficit hídrico representa uma característica importante para os cultivos agrícolas, principalmente pela possibilidade de produção em regiões áridas e semiáridas. Pesquisas indicam que plantas tolerantes à seca desenvolvem adaptações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas que lhes permitem sobreviver e continuar seu desenvolvimento mesmo diante de condições adversas de escassez hídrica (Paiva, 2024). Segundo o mesmo autor, diante da escassez hídrica que afeta todo o país, especificamente em determinadas regiões, fazem-se necessário a busca por alternativas que amenizem a agressão às plantas. Uma solução em ascensão é a utilização de substâncias e produtos, como o ácido salicílico, o peróxido de hidrogênio, dentre outros, para amenizar os estresses que acometem a planta em todo seu ciclo. Essas técnicas podem favorecer uma agricultura mais sustentável e aumentar o índice de tolerância da planta às exposições estressantes.

Segundo Melo e Silva (2024) em função das mudanças climáticas na atualidade as oscilações de temperatura estão presentes em todas as regiões produtivas, e afetam consideravelmente os cultivos agrícola, reduzindo produtividade e qualidade de diferentes tipos de cultura. Neste contexto, é fundamental o estudo de técnicas de cultivo e forma de manejo que possam contribuir para mitigar o efeito dos diferentes estresses ambientais.

De acordo com Chen et al. (2020) o ácido salicílico é conhecido como um dos fitohormônios multifuncionais encontrados nas plantas, sendo um importante bioestimulador envolvido na regulação do crescimento e nas fases de desenvolvimento das culturas das plantas; ainda segundo os autores a produtividade das culturas são melhoradas com a utilização suplementar que em poucas quantidades de ácido salicílico, conseguem exercer sua função na capacidade de reduzir lesões oxidativas que ocorrem devido à superprodução de espécies reativas de oxigênio, conseguindo aumentar a taxa fotossintética e os pigmentos de clorofila atuando na regulação estomática contribuindo para melhorar a qualidade produtiva da planta.

Nas plantas, Melo e Silva (2024) destacam que o ácido salicílico é um composto fenólico que possui participação na regulação do crescimento e desenvolvimento (Khan et al., 2015). Sahu (2013) aborda que o ácido salicílico atua como um regulador natural do crescimento vegetal em diversos processos metabólicos e fisiológicos, como por exemplo, fotossíntese, transpiração, absorção de íons e transporte. Além disso, segundo Khan et al. (2015), o ácido salicílico pode atuar aumentando o rendimento das plantas e diminuindo a suscetibilidade das mesmas a estresses abióticos, como estresse térmico.

Rosa (2022) destaca que há muito tempo se pressupõe que o ácido salicílico esteja envolvido em inúmeras reações metabólicas associadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, entretanto apenas nas últimas décadas estudos confirmaram tal envolvimento. Atualmente sabe-se que o ácido salicílico pode agir em germinação de sementes, estabelecimento de plântulas, crescimento celular, respiração, fechamento estomático, expressão gênica associada à senescência, termotolerância basal, nodulação em leguminosas, florescimento e produção de frutos, sendo assim incluído no grupo dos hormônios vegetais. Segundo o mesmo autor há evidências em diversos estudos sugerem que o ácido salicílico (AS) é um importante regulador da fotossíntese porque interfere na estrutura foliar e cloroplastídica, no fechamento estomático, no conteúdo de clorofila e de carotenoides e na atividade de enzimas como a rubisco (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase / oxigenase) e a anidrase carbônica o que é fundamental para manter a planta viva em condições de estresse hídrico, salino ou patogênico.

Gomes et al. (2023) ressaltam que os efeitos prejudiciais do estresse hídrico dependem de sua intensidade e duração, bem como, da tolerância intrínseca ao estresse e do estágio fenológico das culturas, tendo como resultado, prejuízos na produtividade e rentabilidade ocasionando danos significativamente aos produtores (Soares & Costa, 1998, Gomes et al., 2023). Assim, a aplicação de um menor volume de água, combinada com produtos que apresentam efeitos fisiológicos ou reguladores de crescimento, como o AS, pode mitigar os efeitos prejudiciais do estresse hídrico e melhorar a eficiência do uso e o manejo da água.

Outro efeito do AS é ser um importante mediador na resposta da planta a ataque de patógenos sendo considerado um indutor de resistência, sendo identificado esta capacidade de defesa e resistência da planta, pela primeira vez a função onde testaram em plantas de tabaco o uso do ácido salicílico percebendo maior resistência ao vírus do mosaico do tabaco, reduzindo o número e tamanho das lesões necróticas. Recentes publicações têm demonstrado que o uso do ácido salicílico (AS), de forma isolada ou em conjunto com outras substâncias, promove resistência as plantas atacadas por patógenos, tanto para aplicação como pré-tratamento de sementes ou diretamente em plantas doentes (Chen et al., 2020).

Outras evidências sugerem que o AS atua como uma molécula sinalizadora para a ativação do crescimento e das respostas de defesa da planta, como a resistência sistêmica adquirida e o contra-ataque à infecção por patógenos (Gomes et al., 2023), influenciando uma variedade de processos fisiológicos e bioquímicos com efeitos significativos sobre a resistências ao estresse bióticos e abióticos. Existem

comprovações científicas que a aplicação do (AS) combinada com a redução da irrigação pode ajudar a manter rendimentos satisfatórios da cultura, melhorando a fotossíntese e a produção de biomassa, reduzindo assim o tempo até o transplante em videira como em outros tipos de culturas.

Nos últimos anos, aumentou-se o número de estudos sobre a aplicação de ácido salicílico (AS) nas culturas de interesse econômico, visto os benefícios mitigadores da aplicação de ácido salicílico (AS) em sementes e plantas, em respostas a diferentes estresses de origem biótica e abiótica, sobretudo em decorrência dos efeitos fisiológicos e bioquímicos do composto (Methenni et al., 2018; Silva et al., 2017). Dentre outras funções do ácido salicílico (AS) destacam-se sua atuação na absorção e transporte de íons, na proteção e integridade das membranas, nos processos metabólicos como a respiração e fotossíntese, como indutor e promotor do florescimento, na germinação de sementes e na sinalização de estresses causados por agentes biótico e/ou abiótico (Methenni et al., 2018) bem como na melhor atividade da enzima Rubisco. O ácido salicílico (AS) também possui a função de elevar o potencial produtivo das culturas (Silva et al., 2019a).

O AS é um composto fenólico amplamente reconhecido como um regulador de crescimento vegetal, essencial na fisiologia das plantas, conforme descrito anteriormente, tratando-se de uma molécula sinalizadora essencial em alguns processos metabólicos do desenvolvimento vegetal. Sua atuação está diretamente ligada à regulação de processos metabólicos, crescimento e respostas a diferentes tipos de estresse. Nos sistemas agrícolas, a aplicação exógena de ácido salicílico tem sido estudada como uma estratégia promissora para melhorar o desempenho das culturas, especialmente em condições adversas.

O ácido salicílico exerce influência significativa no desenvolvimento das plantas, participando de processos como a germinação, o crescimento das raízes e o desenvolvimento da parte aérea. Sua ação ocorre por meio da regulação da atividade enzimática e da expressão de genes, favorecendo um aproveitamento mais eficiente dos recursos vegetais. Quando aplicado em concentrações adequadas, o ácido salicílico pode estimular o crescimento e aumentar a produção de biomassa; entretanto, em doses excessivas, pode provocar efeitos negativos, demonstrando a necessidade de um manejo adequado em sua utilização. Além disso, esse regulador vegetal atua diretamente na fotossíntese e na transpiração, contribuindo para a preservação dos cloroplastos e para o aumento da eficiência fotossintética, principalmente em situações de estresse. Também participa do controle da abertura e fechamento dos estômatos, influenciando o equilíbrio hídrico das plantas.

Em condições de estresse hídrico, o ácido salicílico desempenha função importante na redução dos danos causados pela falta de água. Ele favorece o acúmulo de osmólitos, como a prolina, além de estimular a ação de enzimas antioxidantes, diminuindo os efeitos do estresse oxidativo nas células vegetais. Como resultado, plantas tratadas com ácido salicílico costumam apresentar maior capacidade de retenção de água, redução das perdas por transpiração e melhor sobrevivência durante períodos de seca. No combate a doenças, o ácido salicílico também possui papel fundamental, sendo uma das principais substâncias envolvidas na ativação da resistência sistêmica adquirida (RSA). Sua atuação ocorre como

molécula sinalizadora na indução de genes de defesa, estimulando a produção de proteínas relacionadas à proteção contra patógenos. Dessa maneira, as plantas conseguem desenvolver respostas mais rápidas e eficientes diante de infecções causadas por fungos, bactérias e vírus.

Segundo Nóbrega et al. (2020) a aplicação foliar de ácido salicílico (AS) vem sendo utilizada como uma estratégia capaz de minimizar os efeitos deletérios do estresse hídrico e salino nas plantas. Segundo os mesmos autores, o ácido salicílico é um composto fenólico com ação reguladora em diversos processos fisiológicos na planta, incluindo indução floral, absorção de nutrientes, biossíntese de etileno, fechamento estomático e fotossíntese. Após a sua produção, o ácido salicílico (AS) pode ser representado em três formas, glicosilada, metilada ou ambas.

Essas representações podem se estruturar conforme o comportamento dos grupos de íons, e podem ser translocadas via floema (Arif et al., 2020). Segundo o mesmo autor, por ser uma molécula fenólica, o ácido salicílico (AS) contribui para o desenvolvimento do ciclo fisiológico das plantas e o seu nível nos vegetais é variado, no quesito espécie, órgãos, localização subcelular, e sua concentração efetiva depende do estágio de desenvolvimento e das condições ambientais que está submetida.

Para minimizar os efeitos do déficit hídrico, as plantas utilizam estratégias para manter o conteúdo interno de água, protegendo as estruturas celulares e mitigando os efeitos deletérios do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO). Compostos osmorreguladores podem se acumular nos tecidos vegetais, promovendo a absorção de água do solo (Coelho et al., 2018). Além disso, enzimas antioxidantes aumentam a capacidade das plantas de manter as ERO em níveis adequados, reduzindo os danos às estruturas celulares causados pelo estresse hídrico, desta forma, os efeitos são positivos quando as plantas são submetidas ao estresse hídrico.

Segundo Jales filho et al. (2023) compostos como o ácido salicílico (AS) e a prolina (PRO) apresentam diversos efeitos benéficos nas plantas, atenuando as consequências prejudiciais do déficit hídrico. Tanto o ácido salicílico (AS) quanto a prolina (PRO) promovem a atividade de enzimas antioxidantes e a remoção não enzimática de radicais livres, enquanto o acúmulo de prolina, também pode contribuir para a osmorregulação. Consequentemente, esses compostos melhoram o crescimento e a produtividade das plantas mesmo em condições de estresse hídrico ou algum outro tipo de estresse ambiental. O ácido salicílico (AS) também exerce ação reguladora sobre as trocas gasosas foliares e contribui para o ajuste osmótico em ambientes estressantes (Dutra et al., 2022).

O uso de fitohormônios é crescente como estratégia para induzir maior tolerância a condições de estresses abióticos nos diferentes tipos de produção vegetal de interesse agrônomo, florestal e ambiental. Dentre os fitohormônios o ácido salicílico (AS) tem sido muito utilizado, uma vez que estes podem atuar na sinalização e expressão de genes que atuam ativando mecanismos de defesa vegetal, aumentando a tolerância às condições de estresse (Silva et al., 2018; Methenni et al., 2018; Nobrega et al., 2020).

O AS apresenta importante atuação no estímulo ao crescimento e à floração das plantas. Sua aplicação exógena favorece a qualidade na produção de mudas, contribuindo para características como maior altura, expansão da área foliar e aumento da massa seca de folhas, caules e raízes. Esses parâmetros são considerados indicadores de vigor vegetal e possuem grande relevância na avaliação do desenvolvimento e do metabolismo das plantas, especialmente em mudas produzidas em viveiros, estando diretamente associados ao sucesso do estabelecimento da cultura no campo. Além disso, a busca por estratégias que auxiliem as plantas a suportarem longos períodos de déficit hídrico tem se tornado cada vez mais necessária para garantir a manutenção da produtividade agrícola. Nesse contexto, o uso do ácido salicílico vem se destacando devido à sua capacidade de amenizar os efeitos do estresse hídrico nas plantas.

A ação mitigadora do ácido salicílico sobre o estresse hídrico está relacionada ao fortalecimento do sistema antioxidante vegetal e à redução da peroxidação lipídica, proporcionando maior estabilidade às membranas celulares e preservando a eficiência fotossintética. Esse composto atua como um importante regulador fisiológico e bioquímico das plantas em condições de estresse abiótico. Além disso, o ácido salicílico contribui para a diminuição do estresse oxidativo ao estimular respostas como o aumento da prolina, da atividade de enzimas antioxidantes, da produção de proteínas de choque térmico, de metabólitos secundários e do acúmulo de açúcares, mecanismos que favorecem a adaptação e a resistência das plantas em ambientes adversos.

Os efeitos promovidos por este ácido com ação mitigadora do estresse hídrico, ocorre devido o aumento da capacidade antioxidante da planta e no decréscimo no nível de peroxidação de lipídeos promovendo estabilidade nas membranas e da capacidade fotossintética. Ácido salicílico serve como um importante regulador da planta na modulação de características fisiológicas e bioquímicas sob estresse abiótico. Ácido salicílico atenua o estresse oxidativo aumentando as respostas de prolina, enzimas antioxidativas, proteínas de choque térmico, metabólitos secundários e açúcar. Ácido salicílico fornece tolerância às plantas contra estresses como sal, metal pesado, seca, frio, calor e UV (Arif et al., 2020).

Segundo Melo et al. (2022) nos sistemas de produção de grãos, visando altas produtividades, é fundamental o uso de sementes com elevada qualidade fisiológica, garante uma rápida e bem-sucedida germinação de sementes de alto vigor determinante para o estabelecimento da cultura no campo e a obtenção de rendimentos satisfatórios. Fatores abióticos podem favorecer ou inibir a germinação, acelerando ou deteriorando as sementes, comprometendo o crescimento inicial das plântulas e, consequentemente, o sucesso do cultivo. Segundo o mesmo autor, os estresses abióticos como falta de água no solo, elevadas ou baixas temperaturas, presença de metais pesados e salinidade podem provocar desequilíbrios nos processos bioquímicos, fisiológicos e moleculares (Khan et al., 2015), reduzindo a viabilidade das sementes e aumentando a mortalidade das plântulas. Para melhorar o desempenho germinativo no campo e minimizar os efeitos dos estresses abióticos as sementes são submetidas ao condicionamento osmótico ou *priming*, que consiste na hidratação controlada das sementes com soluções

osmóticas de modo a reativar o metabolismo das sementes durante a embebição, preparando-as bioquimicamente para o crescimento sem, contudo, induzir a protrusão da radícula e concluir o processo de germinação.

Em relação síntese bioquímica da produção endógena do ácido salicílico, Fagan et al. (2015) e Rocha (2024) destacam em seu trabalho que existem duas rotas para a produção deste regulador vegetal nas plantas, sendo a rota principal dependente da fenilalanina e a outra do isocorismato, ambas derivando diretamente da rota do ácido chiquímico, tendo como precursor direto o corismato. Segundo mesmo autores, a biossíntese deste fitohormônio ocorre pela rota metabólica denominada de chiquimato, onde são produzidos dois possíveis precursores para a sua biossíntese. O isocorismato, que pode ser diretamente transformado em ácido salicílico, bem como o aminoácido fenilalanina, que primeiramente é transformado para a formação deste fitohormônio. Ainda no processo de biossíntese, tem-se a formação de moléculas intermediárias que são utilizadas para a produção de outros compostos, como por exemplo, o ácido trans-cinâmico que ativa a produção do AS pela via do ácido cumárico, mas também serve como precursor para a formação de compostos fenólicos.

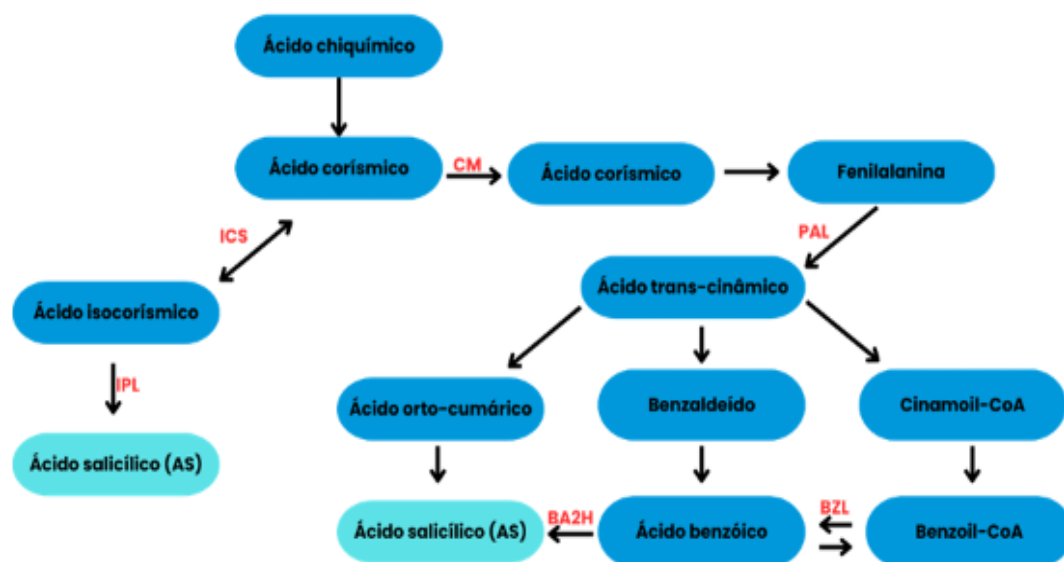


Figura 1. Biossíntese do ácido salicílico adaptado por Rocha (2024) e Fagan (2015). Fonte: Rocha (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O déficit hídrico é caracterizado pela falta de água, o que desencadeia uma série de respostas adaptativas nas plantas. Quando ocorre, altera a homeostase da planta, e a sua ocorrência e duração são fatores limitantes para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e florestais, pois o impacto que causa nas relações hídricas altera o metabolismo das plantas, influenciando negativamente na produtividade e nos parâmetros de crescimento das espécies (Rosa et al., 2021). As respostas iniciais das culturas quando submetidas à seca é, primariamente, o fechamento estomático, um mecanismo que depende da turgescência das células guarda, com isso, essa reação evita a perda de água pela planta e é considerada

um comportamento de cultivares tolerantes, porém, esse comportamento reduz a entrada de CO₂ nas folhas, desencadeando várias modificações, como aumento da espessura foliar, aumento do número de tricomas, deposição de cera e espessamento da cutícula, entre outras (Melo, 2021).

Os processos fisiológicos das plantas são afetados em déficit hídrico, promovendo a redução no conteúdo de água celular resultando em perda de turgor, redução da taxa fotossintética e redução da expansão foliar. Algumas espécies, no entanto, possuem mecanismos de escape ao estresse, que permitem a redução da taxa fotossintética e a manutenção do status hídrico da planta (Taiz et al., 2017). Além disso, as plantas também apresentam mecanismos de ajuste para lidar com o déficit hídrico, como o aumento no crescimento das raízes e a redução da atividade respiratória.

Gomes et al. (2018) trabalhando com milho (*Zea mays*) safrinha em condições de sequeiro utilizaram diferentes doses de ácido salicílico com o objetivo de minimizar os efeitos do déficit hídrico com doses de 0,0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 mM, verificaram que o regulador vegetal teve efeito atenuante nas condições de estresse hídrico, com resultados satisfatórios para o teor de clorofila, massa seca, aumentou a massa radicular, área foliar.

Nobrega et al. (2021) destacam que escassez hídrica é um problema para a produção agrícola nas regiões semiáridas, de forma que se torna necessário estudar seus efeitos, assim como medidas para atenuar tais danos na germinação e crescimento inicial das plântulas. Diante disso, os autores avaliaram o ácido salicílico (AS) como atenuador do estresse durante a germinação de sementes e crescimento inicial das plântulas de *Cereus jamacaru*, verificando que o estresse hídrico induzido por soluções de PEG 6000 reduz a qualidade e o vigor das sementes de *C. jamacaru*. A embebição de sementes com ácido salicílico (AS) atenuou os efeitos déficit hídrico, sendo a dose de 1,71 mM L⁻¹ a mais eficiente para reduzir os danos promovidos pelo estresse hídrico sobre a germinação das sementes de *C. jamacaru*.

Segundo Silva (2019a) na fase de o crescimento e o desenvolvimento das diferentes espécies vegetais é essencial que a planta não tenha excesso e nem escassez de água, sendo este fator um grande influenciador nos resultados produtivos no campo. Uma planta submetida a condições ambientais desfavoráveis, como o déficit hídrico, impactam diretamente nos estresses abióticos que mais limita o rendimento e a qualidade da produção. Plantas com pouca tolerância ao estresse hídrico, especialmente durante a fase de desenvolvimento e frutificação, apresentam baixos rendimentos produtivos. A redução da disponibilidade de água nas plantas, de modo geral, induz distúrbios fisiológicos como o baixo potencial hídrico, desidratação celular, fechamento estomático, inibição da fotossíntese, abscisão foliar e morte celular, dependendo dos níveis do estresse e o uso do AS têm sido uma alternativa nas regiões com escassez de chuvas por longos períodos.

Nesse sentido, à medida que os recursos hídricos se tornam cada vez mais escassos, estudos envolvendo o déficit hídrico e a tolerância das culturas a este tipo de estresse, figuram como prioridade para a manutenção da produção agrícola. Dentre os diferentes tipos de reguladores, evidenciase o ácido salicílico, hormônio vegetal de natureza fenólica ativamente envolvido em vários processos bioquímicos

e fisiológicos das plantas, incluindo a germinação, fotossíntese, respiração, crescimento e senescência. Esse regulador tem sido relatado como atenuador dos efeitos adversos de diferentes tipos de estresses abióticos, com destaque para o estresse hídrico (Dutra et al., 2022).

Sob condição de estresse hídrico, as plantas mantêm o equilíbrio osmótico por meio de mecanismos protetores bem desenvolvidos, como a osmorregulação, mediada por osmólitos como a prolina, açúcares solúveis, aminas, entre outros. Entretanto, a produção desses compostos nem sempre é suficiente para atenuar os efeitos deletérios em situação de estresse. O ácido salicílico atua promovendo o acúmulo destes osmólitos e, portanto, contribui para a manutenção do turgor celular, além de melhorar a atividade antioxidante nas plantas estressadas (Silva, 2019).

O estresse em plantas pode ser definido como qualquer condição ambiental desvantajosa, que impede a planta de alcançar seu potencial genético pleno. O déficit hídrico, representa uma disponibilidade hídrica insuficiente às plantas, que afeta os crescimentos vegetativo e reprodutivo, ocorrendo desidratação celular e por consequência, um estresse (Taiz et al., 2017). Segundo Silva (2019b) e Taiz et al. (2017) considerando os recursos necessários para o crescimento e funcionamento das plantas, a água é o mais abundante e frequentemente o mais limitante da produtividade agrícola, sendo o déficit hídrico um estresse frequente que reduz a produção de biomassa vegetal e o rendimento das culturas. Em resposta a esse estresse, as plantas promovem o fechamento estomático mediado pelo acúmulo de ácido abscísico, sendo essa uma resposta primária ao estresse, reduzindo dessa forma as trocas gasosas e a taxa fotossintética, devido a redução do potencial hídrico e turgor celular.

Pesquisas têm mostrado redução na taxa fotossintética líquida e na condutância estomática de plantas submetidas ao estresse hídrico. No estudo das respostas das trocas gasosas, da fluorescência da clorofila e do sistema antioxidante das folhas de algodão durante o déficit hídrico, observaram uma redução na taxa fotossintética, sendo esta acompanhada da limitação estomática Yi et al. (2016). Já o efeito do estresse hídrico no crescimento, rendimento, troca gasosas de folhas e parâmetros de fluorescência da clorofila no feijoeiro, constataram que os efeitos do estresse hídrico na taxa fotossintética foram altamente significativos e que em todos os níveis de estresse houve redução na produção de matéria seca, índice de área foliar, número de sementes por planta, número de vagens por planta, tamanho da semente e no rendimento de grãos.

Carvalho et al. (2020) pesquisando os efeitos do AS no cultivo de manjerição, observaram que em relação aos sintomas visuais, o ácido salicílico não atenuou o murchamento das plantas não irrigadas, não interferindo também na altura das plantas de manjerição. Quanto à condutância estomática, houve um aumento de mais de 100% para as plantas não irrigadas com AS quando comparadas às plantas não irrigadas sem AS. Em relação ao teor relativo de água houve um aumento de 44,5% com aplicação do AS nas plantas não irrigada quando comparadas com as plantas não irrigadas sem AS. Diante os resultados, o ácido salicílico contribuiu positivamente como atenuador aos efeitos do estresse hídrico em

plantas de manjerição, promovendo incremento nas variáveis condutância estomática e teor relativo de água.

Machado et al. (2009) analisando diferentes genótipos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), observaram decréscimo na condutância estomática (Gs) quando as plantas estavam sob déficit hídrico. Esses dados mostram claramente o papel positivo do AS na abertura e fechamento estomático, demonstrando que as plantas irrigadas com AS apresentaram um aumento de 18% na condutância estomática quando comparadas com as plantas irrigadas sem AS o que pode indicar o papel atenuador do fitohormônio em plantas de manjerição com déficit hídrico.

Paiva (2024), trabalhando com algodoeiro colorido é uma planta que possui significativa relevância socioeconômica na região Nordeste se destaca como uma das mais produtivas no Brasil, no entanto, nessa região frequentemente ocorrem períodos de estiagem que podem comprometer a exploração sustentável desta cultura. Utilizando o AS na cultivar do algodoeiro BRS Safira observou que o fitohormônio foi relativamente tolerante a redução na disponibilidade hídrica no solo, constatado pelas baixas reduções nos componentes de crescimento e, sendo os menores decréscimos verificados na produção de fitomassa fresca. A aplicação exógena de AS em concentração média de 3,9 mM promove maior número de folhas, área foliar e altura de planta de algodoeiro BRS Safira. As concentrações de ácido salicílico variando de 0 à 4,5 mM não atenuaram o estresse hídrico sobre crescimento e a produção de fitomassa fresca de plantas de algodoeiro BRS Safira.

Vários estudos indicam que o AS auxiliam no incremento dos pigmentos fotossintéticos, da eficiência quântica do fotossistema II e de conversão de energia absorvida, podendo condicionar aumento das enzimas antioxidantes (SOD e POX) (Almeida, 2022; Foresti et al., 2022). Segundo alguns autores o uso do ácido salicílico (AS) diminui o efeito negativo das espécies reativas de oxigênio (EROs), exercendo um papel no controle da atividade fotossintética e condutividade estomática, quando a planta estiver em condições de estresse hídrico (Almeida, 2022). Segundo Poor et al. (2019) o uso do AS atua diretamente para minimizar os efeitos do estresse hídrico ou patogênico, sendo um importante fitohormônio que induz o fechamento estomático e, portanto, atuando diretamente na taxa de fotossíntese.

A aplicação foliar do AS desempenha um papel crucial na regulação estomática, germinação de sementes, absorção de íons, permeabilidade da membrana celular e taxa fotossintética, incluindo a síntese de pigmentos fotossintéticos (El-Taher et al., 2022). Trazendo um benefício importantíssimo para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, principalmente as de interesse agrícola. Dentre as espécies destaca-se a planta de gergelim (*Sesamum indicum*) através do trabalho de Silva et al. (2017), demonstrando que o ácido salicílico induziu tolerância ao estresse hídrico quando aplicado através da adubação foliar. No cultivo do girassol, Zaid (2015), constataram que a aplicação exógena do ácido salicílico amenizou os efeitos nocivos do déficit hídrico. Para o manjerição, os autores Carvalho et al. (2023), relataram que a aplicação exógena de 2 mM de ácido salicílico contribuiu positivamente tanto para o crescimento das plantas submetidas a estresse hídrico quanto para as plantas irrigadas diariamente.

Como o AS é um composto fenólico com importantes funções regulatórias no metabolismo das plantas, conforme descrito acima, acaba desempenhando um papel crucial na promoção da resistência e adaptação das plantas a condições de estresse, especialmente estresse abiótico como a seca, atuando juntamente com outros fitormônios, como a citocinina, a giberelina e o ácido jasmônico, participando da fisiologia da planta, estando envolvido na regulação da expressão de enzimas como a superóxido dismutase e as peroxidases.

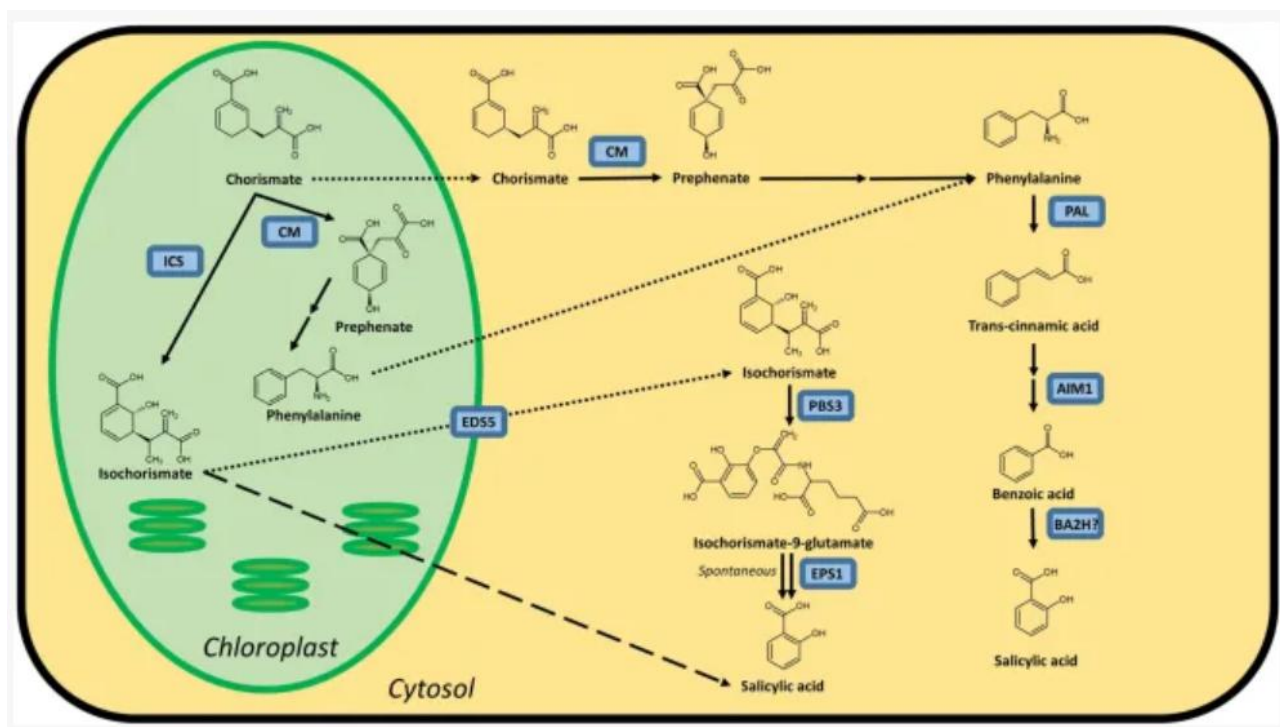


Figura 2. Rotas de biossíntese do ácido salicílicos (AS) em plantas. Fonte: Lefevere; Bauters; Gheysen (2020).

Barbosa (2024) trabalhando com o girassol de corte (*Helianthus annuus* L.) Híbrido Vicent's choice, uma espécie que vem ganhando destaque no mercado nacional, tem sido afetado em função de baixos índices pluviométricos nas diferentes regiões do país, consequentemente, em relação a deficiência hídrica que mais limita a produtividade das plantas. De acordo com o autor, os resultados mostraram que o AS não amenizou os efeitos do déficit hídrico de forma eficiente, porém aumentou a condutância estomática nas plantas sob estresse hídrico apresentando maior índice de clorofila, transpiração e fotossíntese líquida, indicando aclimação ao déficit hídrico.

Furtado et al. (2020) estudando os efeitos do AS no cultivo da cultura do café (*Coffea arabica*) verificaram que o uso do AS nas concentrações variando de 0,05 a 0,8 mg L⁻¹ reduziu o crescimento e acúmulo de biomassa de plantas de cafeeiro, não ativou os mecanismos de defesa de plantas de cafeeiro sob déficit hídrico e as concentrações testadas não influenciaram nas características fisiológicas das plantas. De acordo com Koo et al. (2020), geralmente, altos níveis de AS regulam negativamente o desenvolvimento e crescimento das plantas.

Feitosa et al. (2016) trabalhando com comportamento fisiológico do gergelim (*Sesamum indicum*) submetido ao estresse hídrico e aplicação de AS, nas doses de 0, 4, 8 e 12 mg L⁻¹ de ácido salicílico (AS) com e sem suspensão hídrica por oito dias, observaram que o estresse hídrico reduziu a taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração, enquanto, aumentou a temperatura foliar de plantas. Carvalho et al. (2023) trabalhando com dois cultivares de manjerição submetidos ao estresse hídrico e a aplicação do AS observaram que em plantas irrigadas o ácido salicílico contribuiu para o crescimento em altura do manjerição verde e aumentou significativamente a taxa fotossintética das variedades de manjerição verde e roxo. Segundo os mesmos autores, nas plantas submetidas ao déficit hídrico, o AS favoreceu o crescimento das raízes das plantas de manjerição verde e roxo e contribuiu no aumento do teor de clorofila total para as plantas, proporcionando efeitos benéficos em relação aos incrementos na fotossíntese e na altura das plantas, assim como o aumento da massa seca das raízes é um indício de seu papel mitigador ao estresse hídrico.

Cardoso et al. (2023) trabalhando com ácido salicílico em canola (*Brassica napus* L.) descrevem que a aplicação de diferentes doses de ácido salicílico apresentaram sintomas de estresse hídrico, como maior porcentagem de injúrias visuais e menor desenvolvimento de parte aérea. Segundo os mesmos autores a aplicação de AS não atenuou os efeitos ocasionados pelo estresse hídrico em plantas de canola, assim como não demonstrou efeitos benéficos no desenvolvimento das plantas sem estresse hídrico. Soares et al. (2023) trabalhando com AS em meloeiro avaliaram os efeitos da aplicação foliar sobre o estresse salino (2,1 a 5,4 dS m⁻¹) em cultivo hidropônico e constataram que a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,5 mM e solução nutritiva salina de 3,1 dS m⁻¹ proporcionou a máxima produtividade máxima de frutos de melão (23,82 t ha⁻¹).

Mendonça et al. (2022) estudando a produção do quiabeiro em sistema hidropônico, constataram que a aplicação foliar de AS em concentrações entre 1,2 e 2,3 mM reduziu os efeitos deletérios do estresse salino nos valores de (CEsn de 3,0 a 9,0 dS m⁻¹) podendo viabilizar o uso de água salobra no cultivo de quiabo. Segundo os mesmos autores, a aplicação foliar de ácido salicílico na concentração de 1,8 mM estimulou a biossíntese de clorofila a e b das plantas de quiabeiro, respectivamente, sob solução nutritiva salina de 3,0 e 4,0 dS m⁻¹.

Sousa et al. (2025) estudando o aprimoramento da tolerância dos citros em relação ao uso do AS a déficit hídrico e salinidade, descrevem que o déficit hídrico induz ao fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese, enquanto o excesso de salinidade, provocando estresse osmótico e toxidez iônica por acúmulo de Na⁺ e Cl⁻ nas células vegetais, destacando que os reguladores vegetais, como o ácido salicílico (AS), surgem como uma alternativa para a indução de respostas de tolerância às condições adversas. Segundo os mesmos autores as diferentes condições de estresse induziram o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, ocasionando em danos oxidativos evidenciados pelo extravasamento de eletrólitos, sendo que a aplicação do AS, sobretudo na concentração de 2 mM,

atenuou esses efeitos adversos dos estresses ao minimizar o acúmulo de O_2^- sob deficiência hídrica e H_2O_2 sob salinidade.

Rocha et al. (2023) estudando os efeitos do AS em sementes de soja cv. Monsoy 8644 foram submetidas à embebição por oito horas, em diferentes concentrações de ácido salicílico (100, 150 e 200 $mg\ L^{-1}$) e o controle com água destilada. Dentre os resultados obtidos os autores destacam que o uso de ácido salicílico não reduz o efeito danoso do envelhecimento acelerado das sementes e quando utilizados nas concentrações 150 e 200 $mg\ L^{-1}$ de intensificam os efeitos deletérios do envelhecimento acelerado.

Acevedo (2022) trabalhando com AS em pré e pós-colheita da batata com aplicado na forma de pulverização foliar (0 e 1 mM) sob três tensões de água no solo (10, 30 e 45 kPa) e a imersão dos tubérculos dos tratamentos do primeiro experimento foram colocados em imersão em AS (8 mM) para posterior avaliação pós-colheita, notaram que a aplicação foliar do AS apresentou efeitos positivo na mitigação do estresse oxidativo da planta, como declínio de malonaldeído e síntese de compostos bioativos para aumentar a capacidade antioxidante da planta. Segundo os mesmos autores os tubérculos que foram submetidos a condições de estresse hídrico apresentaram mudança principalmente no conteúdo de amido no tubérculo na pós-colheita, ainda assim, a imersão do AS do tubérculo proporcionou mudança significativa relativamente baixa nos compostos bioativos do tubérculo. Em conjunto, os resultados indicam que a aplicação de AS exógeno pode desempenhar uma função positiva para controlar os efeitos de estresse oxidativo na planta e tubérculo da batata.

Li et al. (2019) em seus estudos com AS constataram que a aplicação promoveu positivamente o aumento dos níveis de clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenoides na cultura da batata sob estresse oxidativo por metais pesados no solo, concordando com os resultados deste estudo. Este fato foi apresentado por Acevedo (2022) e destaca que a aplicação exógena de ácido salicílico provavelmente diminuiu a atividade da clorofilase combinada com concentrações reduzidas de ERO e aumento no conteúdo de carotenoides.

Santos (2021) trabalhando com ácido salicílico e condutividade elétrica da água de irrigação no crescimento e na fisiologia de mudas do mamoeiro cita que após 60 dias da semeadura, foram avaliadas altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massas secas (caule, folha, raiz e total) e dentre essas variáveis, relatam que houve interação dos fatores estudados para área foliar e diâmetro do caule e de forma isolada constatou-se diferença significativa para as variáveis, altura, massa seca da parte aérea, massa seca do caule e massa seca da raiz. Segundo o mesmo autor, o estresse salino reduz todas as variáveis do crescimento das mudas de mamoeiro, com decréscimo de 10% no crescimento das mudas de mamoeiro quando a água de irrigação apresenta condutividade elétrica de $1,7\ dS\ m^{-1}$. O AS não atenua os efeitos do estresse salino nas variáveis de crescimento das mudas de mamoeiro. Ainda na cultura do mamoeiro Sousa et al. (2019) destacam que salinidade da água reduziu o crescimento do mamão, especialmente em termos de crescimento e formação foliar, e observaram também que as massas secas

de caule e da parte aérea, reduzem em altas concentrações de sais e nesses casos o uso do AS torna-se uma alternativa para minimizar o estresse salino e hídrico.

Oliveira et al. (2022) trabalhando com aplicação foliar do AS na produção de meloeiro hidropônico em condições de estresse salino observaram que a aplicação foliar das concentrações de ácido salicílico não mitigaram os efeitos deletérios do estresse salino sobre a morfofisiologia e produção do meloeiro cultivado em sistema hidropônico. A concentração de 4,5 mM de ácido salicílico intensificou os efeitos deletérios da salinidade da solução nutritiva sobre as trocas gasosas e peso fresco de fruto do meloeiro hidropônico. No entanto, os autores destacam no trabalho que as plantas de melão ‘Gaúcho’ submetidas à condutividade elétrica da solução nutritiva (ECns) de 2,1 dS m⁻¹ e sem aplicação de ácido salicílico (0 mM) apresentaram a maior transpiração foliar (5,52 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Já o ECns de 5,4 dS m⁻¹ associada à aplicação foliar na concentração de 4,5 mM provocou redução na transpiração das plantas de melão.

Os mesmos autores ressaltam que o maior valor de A (21,50 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) foi obtido em plantas de melão submetidas à concentração de 1,3 mM de ácido salicílico e cultivadas com ECns de 2,1 dS m⁻¹, correspondendo a um aumento de 2,53% (0,544 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) em comparação com plantas que não receberam aplicação foliar de ácido salicílico (0 mM - Controle) e estavam sob ECns de 2,1 dS m⁻¹. A redução na taxa de assimilação de CO₂ em plantas cultivadas sob ECns de 5,4 dS m⁻¹ ocorreu devido ao fechamento estomático sob estresse salino, como estratégia para reduzir o fluxo de vapor de água e a difusão de CO₂ nas células do mesófilo foliar, comprometendo a transpiração e a assimilação de CO₂.

Melo (2022) trabalhando com dois reguladores ácido salicílico (AS) e jasmônico (JA) no crescimento, fisiologia e qualidade do fruto de tomate cereja sob estresse salino, verificaram que a pulverização foliar com SA e JA mitigou os danos causados pelo estresse salino, reduzindo o teor de Na⁺ nos tecidos, mantendo a integridade das membranas celulares e as trocas gasosas. Além disso, o autor destaca que tratamento com fitorreguladores aumentou a acidez, teor de vitamina C, conteúdo de licopeno, intensificou a coloração da casca e melhorou o sabor dos frutos. Destacou ainda no estudo que o SA e o JA exógenos aliviam a toxicidade da salinidade, porém sem manter o crescimento das plantas e a produtividade de frutos.

Uma das grandes dificuldades em trabalhar com reguladores vegetais, está na determinação de concentrações adequadas para cada espécie, cultivar, variedade e condições abiótica, fato observado por Melo e Silva (2024) ao trabalharem com pimentão em cultivo protegido, cultivar *All Big*, nas doses 0,0; 0,75; 1,5; e 2,25 g/L de AS, durante um ciclo de 105 dias avaliaram o florescimento, número de botões e flores abertas, número de frutos colhidos, largura e comprimento de frutos, e peso médio de frutos, observaram que as doses testadas não contribuíram para melhorar o desenvolvimento de plantas e a

produção de pimentão; além disso, as doses de 1,75 g/L e de 2,25 g/L foram prejudiciais ao desenvolvimento das plantas de pimentão da cultivar All Big em cultivo protegido.

CONCLUSÃO

De acordo com presente trabalho a aplicação de ácido salicílico (AS) na agricultura tem mostrado impactos positivos na produtividade de algumas culturas e espécies de plantas quando tratadas com este regulador vegetal, frequentemente, para algumas espécies apresentam maior rendimento, melhor qualidade dos frutos e maior resistência a condições adversas. Esse efeito está relacionado à capacidade do composto de otimizar processos fisiológicos e proteger a planta contra estresses bióticos e abióticos. Atualmente o ácido salicílico (AS) é uma ferramenta importante para o manejo agrícola sustentável, contribuindo para o aumento da resiliência das plantas e da produtividade. Seu uso adequado pode reduzir perdas causadas por estresses ambientais e patógenos, tornando-se uma alternativa viável para melhorar a eficiência dos sistemas de produção. No entanto, é fundamental compreender as doses e formas de aplicação para maximizar seus benefícios e evitar efeitos negativos.

O ácido salicílico (AS) é essencial para aumentar a tolerância das plantas a estresses como seca, salinidade e ataque de patógenos, atuando como sinalizador de respostas de defesa. Ele melhora o crescimento vegetal ao estimular processos fisiológicos como a fotossíntese e a atividade enzimática, mesmo em condições adversas. Em situações de estresse, o ácido salicílico (AS) fortalece o sistema antioxidante da planta, reduzindo danos celulares e mantendo o equilíbrio metabólico. De acordo com os autores o ácido salicílico (AS) aumenta a produtividade agrícola ao melhorar a eficiência fisiológica das plantas, especialmente em condições de estresse, contribuindo para maior resistência a seca, salinidade e patógenos, reduzindo perdas na produção, favorecendo o crescimento vegetal e a formação de frutos com melhor qualidade e rendimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, A.F.G. (2022). Uso de ácido salicílico em pré e pós-colheita de batata como regulador vegetal e mecanismo de defesa. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. 142p.
- Almeida, J.L.C.S. (2022). Estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de *Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados. 84p.
- Arif, Y., Sami, F., Siddiqui, H., Bajguz, A. & Hayat, S. (2020). Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: a study towards physiology and signal transduction under challenging environment. *Environmental and Experimental Botany*, 175, e104040.
- Cardoso, B.S; Rosa, E.F.F; Kaseker, J.F; Nohatto, M.A; Luz, S. (2023). Ácido salicílico como atenuador do déficit hídrico em canola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. v 22, n. 1, p. 234-241.

- Carvalho, J.S.B; Silva, J.P.R; Batista, R.C.M. (2020). Uso do ácido salicílico como atenuador aos efeitos do déficit hídrico em plantas de manjerição. *Diversitas Journal*. v. 5, n. 3, p. 1561-1574.
- Chen, J.; Clinton, M.; Qi, G.; Wang, D.; Liu, F.; Fu, Z. Q. (2020). Reprogramming and remodeling: transcriptional and epigenetic regulation of salicylic acid-mediated plant defense. *Journal of Experimental Botany*, v 71, p. 5256-5268.
- Coelho, J. B. M.; Bezerra Neto, E.; Barros, M. de F. C.; Albuquerque, E. R. G. M. (2018). Crescimento e acúmulo de solutos orgânicos no feijão *Vigna* submetido ao estresse salino. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v.13, p.242-256.
- Dutra; V.H; Amorim; L.M.A; Bernardo; A.M.G; Alves, E.C; Oliveira, C.M; Dias, D.C.F.S. (2022). Qualidade fisiológica de sementes de *Physalis peruviana* sob condições de estresse hídrico. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2.
- El-Taher, A.M; El-Raouf, H.S.A; Osman, N.A; Azoz, S.M; Omar, M.A; Elkelish, A; El-Hady, M.A.M (2022). Effect of Salt Stress and Foliar Application of Salicylic Acid on Morphological, Biochemical, Anatomical, and Productivity Characteristics of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Plants. *Plants*. 11, 115, p.1-15.
- Fagan, E.B.; Ono, E.O.; Rodrigues, J.D.; Chalfun Junior, A.; Dourado Neto, D. (2015). *Fisiologia vegetal: reguladores vegetais*. São Paulo: Andrei. 300p.
- Feitosa, S.S; Albuquerque, M.B; Oliveira; A.P; Pereira, W.E; Brito Neto, J.F. Fisiologia do *Sesamum indicum* L. sob estresse hídrico e aplicação de ácido salicílico. *Revista Irriga*, v. 21, n. 4, p. 711-723, 2016.
- Foresti, A. C.; Reis, L. C.; Scalón, S. P. Q.; Dresch, D. M.; Santos, C. C.; Jesus; M. V. (2022). Salicylic acid mitigating damage to the photosynthetic apparatus and quality of *Eugenia myrcianthes* seedlings under water deficit. *Rodriguésia*. Vol. 73.
- Furtado, B.N; Borges, L.P; Amorim, V.A; Matos, F.S. (2020). A importância do ácido salicílico na mitigação do déficit hídrico em plantas de cafeeiro. *Revista Agri-Environmental Sciences*, v. 6, e020012. p. 1-12.
- Gomes, C.A; Assis, A.C; Alves, D.P.; Reis, M.R. (2018). Aplicação de ácido salicílico (AS) como atenuador dos efeitos do estresse hídrico no milho. *Jornal of Engineering and Exact Sciences*. v.04, n.03. p.1-5. 9.,
- Gomes, I.P.F.A; Dantas, C.D.M.S; Aires, E.S; Ono, E.O. (2023). Ácido salicílico em mudas de videira cultivar ‘BRS Vitória’ sob estresse hídrico. *Semina: Ciência Agraria*. v. 44, n. 6, p. 2229-2248.
- Jales Filho, R.C; Melo, Y.L; Viégas, P.R.A; Oliveira, A.P.S; Neto, V.E.A; Ferraz, R.L.S; Gheyi, H.R; Carol, P; Lacerda, C.F; Melo2, A.S. (2023). Salicylic acid and proline modulate water stress tolerance in a traditional variety of cowpeas. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering* v.27, n.1, p.18-25.
- Khan, M & Iqbal R. et al. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1-17.

- Koo, Y. M., Heo, A. Y., Choi, H. W. (2020). Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *Plant Pathology Journal*. v. 36, n.1, p.1-10.
- Li, Q. et al. (2019). Goliar application of salicylic acid alleviate the cadmium toxicity by modulation the reactive oxygen species in potato. *ecotoxicology and environmental safety*, v. 172, n. 01, p. 317–325.
- Lefevere, H; Bauterss, L. Gheysen, G. (2020). Biossíntese do ácido salicílico em plantas. *Frontiers in Plant Science*. v.11, p.1-7
- Machado, R.S.; Ribeiro, R.V.; Marchiori, P.E.R.; Machado, D.F.S.P.; Machado, E.C.; Landell, M.G.A. (2009) Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, n.12, p.1575- 1582.
- Melo, C.A.D; Dias, R.C. Moura; Tropaldi, L; Rei, M.R. (2025). Uso do ácido salicílico no cultivo de grãos. In: Lima, C.S.M; Bonome, L.T.S; Santos, E.R (Orgs). *Uso de ácido salicílico em cultivos agrícolas*. Ed. UFFS, 122p.
- Melo, J.L.M. (2021). Polímero hidretentor alternativo para horticultura em condições salinas. Universidade Federal Ceará. Dissertação de Mestrado. 83p.
- Melo, M. F; (2022). Efeito do ácido salicílico e jasmônico no crescimento, fisiologia e qualidade do fruto de tomate cereja sob estresse salino. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 73p.
- Melo; E.S.; Silva, V.N. (2024) Aplicação foliar de ácido salicílico no desenvolvimento e produção de pimentão envasado em cultivo protegido. *Revista Cultivando o Saber*. v.17, p. 98-114.
- Mendonça, A. J. T.; Silva, A. A. R; Lima, G. S; Soares, L. A. A; Oliveira, V. K. N; Gheyi, H. R.; Lacerda, C. F; Azevedo, C. A. V; Lima, V. L. A; Fernandes, P. D. (2022) Salicylic acid modulates okra tolerance to salt stress in hydroponic system. *agriculture*, v. 12, p. 1-22.
- Methenni, K. et al. (2018). Salicylic acid and calcium pretreatments alleviate the toxic effect of salinity in the *Oueslati olive* variety. *Scientia Horticulturae*, 233: 349-358.
- Nóbrega, J.S. Silva, T.I; Ribeiro, J.E.S; Vieira, L.S.V; Figueiredo, F.R.A; Fátima, R.T; Bruno, R.L.A; Dias. T.J. (2020). Salinidade e ácido salicílico no desenvolvimento inicial de melancia. *Revista Desafios*. v. 7, n. 2.
- Oliveira, V. K. N.; Lima, G. S.; Soares, M. D. M.; Gheyi, H. R.; Silva, A. A. R.; Paiva, F. J. S.; Mendonça, A. J. T.; Fernandes, P. D. (2022) Salicylic acid does not mitigate salt stress on the morphophysiology and production of hydroponic melon. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, e-262664.
- Paiva, D.S.A. (2024) Uso do ácido salicílico na mitigação do estresse hídrico em algodoeiro de fibra naturalmente colorida. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 38p.

- Poór, P.; Borbély, P.; Bódi, N.; Bagyánszki, M.; Tari, I. (2019). Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, v. 57, n. 2, p. 367-376.
- Rocha, C.M. (2024). Salicilatos na Agricultura: Uma Revisão Bibliográfica. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal de Alagoas. 53p.
- Rocha, D.S; Santana, D.M; Diniz, F.O. (2023). Ácido salicílico em sementes de soja submetidas ao estresse do envelhecimento acelerado. *International Journal Agrarian Sciences*. v. 2, n. 2, p. 32- 45.
- Rosa, D. B. C. J.; Scalon, S. D. P. Q.; Dresch, D. M. (2021). Shading for water stress mitigation in *Copaifera langsdorffii* Desf. seedlings. *South African Journal of Botany*, v. 140, p. 240- 248.
- Rosa, G.G; (2022). Efeitos fisiológicos do ácido salicílico no crescimento e desenvolvimento vegetal. In: Lima, C.S.M; Bonome, L.T.S; Santos, E.R (Orgs). *Uso de ácido salicílico em cultivos agrícolas*. Ed. UFFS, 122p.
- Santos, A.M.B. (2021) Ácido salicílico e condutividade elétrica da água de irrigação no crescimento e na fisiologia de mudas do mamoeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. 42p.
- Sahu, G. K. (2013). Salicylic acid: Role in plant physiology and stress tolerance. In: Rout, G.R.; Das, A.B. *Molecular stress physiology of plants*. Springer. 217-239p.
- Silva, A.C; Suassuna, J.F; Melo, A.S; Costa, R.C; Andrade, W.L; Silva, D.C. (2017) Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.21, n.3, p.156-162.
- Silva, D. C.; Melo, A. S.; Melo, Y. L.; Andrade, W. L.; Lima, L. M.; Santos, A. R. (2019). Silicon foliar application attenuates the effects of water suppression on cowpea cultivars. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 43.
- Silva, J. E. et al. (2019) Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stresses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23: 919-924.
- Soares, J. M., & Costa, F. F. (1998). Irrigação da cultura da videira. In P. C. S. Leão, & J. M. Soares (Orgs.), *A viticultura no Semi-árido brasileiro*. vol. 19, n. 194, p. 58-69.
- Soares, M.D.M. (2023). Fisiologia e produção do meloeiro sob soluções nutritivas salinas e ácido salicílico. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande. 45p.
- Sousa, C.V.S. Sá, M.C; Bonfim, R.A.A; Costa, G.K.A; Ribeiro Filho, L.N; Silva, M.F; Cairo, P.A.R. (2025). Aprimorando a tolerância dos citros: respostas mediadas por ácido salicílico e déficit hídrico e salinidade. *Anais do XXIX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica 2025*. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). p.1-5.
- Sousa, M. S. S.; Lima, V. L. A.; Brito, M. E. B.; Silva, L. A.; Moreira, R. C. L.; Oliveira, C. J. A. (2019). Organic fertilization to attenuate water salinity effect on papaya growth. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.79-83.

- Taiz, L.; Zeiger, E.; Muller, I. M.; Murphy, A. (2017). Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal, 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.
- Yi, X. P.; Zhang, Y. L.; Yao, H. S.; Luo, H. H.; Gou, L.; Chow, W. S.; Zhang, W. F. (2016). Rapid recovery of photosynthetic rate following soil water deficit and re-watering in cotton plants (*Gossypium herbaceum* L.) is related to the stability of the photosystems. Journal of plant physiology, v.194, n.1, p.23-34.
- Zaidi, H. S.; et al. (2015). Foliar application of Salicylic Acid reduced the harsh influences of water deficit and biochemical contents in varying degree in sunflower. Sindh University Research Journal (science series), v.47, n.4, p. 645-648.

Desempenho do amendoim sob o efeito de diferentes doses de fertilizantes mineral e organomineral, associados a inoculação com *Azospirillum brasilense*

Recebido em: 20/01/2026

Aceito em: 31/01/2026

 10.46420/9786585756808cap4

Maria Carolina de Souza 

Gabriela da Silva da Costa 

Gabrielle Kalini dos Santos Borges 

Werwerth Costa Martins 

Jorge González Aguilera 

Carlos Eduardo da Silva Oliveira 

Tiago Zoz 

INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) nos últimos anos ocupa grande destaque no mercado mundial de grãos, devido à sua versatilidade de uso (Biswal et al., 2024). Em média, o amendoim é constituído por aproximadamente 70% de grãos ou sementes e 30% de casca, a cultura é uma fonte de alimento de grande relevância, seja como óleo ou utilizado diretamente para consumo humano (Arya et al., 2016). No Brasil a cultura é economicamente significativa, atendendo as necessidades sociais e ambientais, por meio da adoção de tecnologias e o aprimoramento dos métodos de produção (Neves et al., 2023).

O amendoim apresenta alta exigência nutricional, sendo necessário o fornecimento equilibrado de macronutrientes e micronutrientes (Toomer, 2017). A deficiência ou excesso de nutrientes pode afetar o rendimento e a saúde da planta, tornando essencial o manejo da adubação (Xie et al., 2020). O Brasil é um importante produtor de amendoim cujo uso de bactérias promotoras de crescimento das plantas não é comum no manejo da cultura, entretanto, se faz necessário a utilização de inoculantes para a safra. Uma vez que se trata de uma excelente alternativa para redução de custos vinculados ao manejo de insumos químicos, fertilizantes e de produção, é o emprego de bactérias promotoras de crescimento (Frezarin et al., 2023).

Nas últimas décadas, afim de atender à demanda crescente mundial de alimentos, a adoção de práticas agrícolas intensivas são um dos principais motivos correlacionados aos danos no solo. Neste sentido, a agricultura tradicional onde o uso principalmente se faz por meio de fertilizantes sintéticos que resultam em maior impacto a saúde do solo vem sendo migrada para o manejo de forma sustentável, no qual, uma ampla variedade de fertilizantes organomineral tem se consolidado (Uddin et al., 2024). Além disso, a realização do aporte nutricional através do uso de fertilizantes organominerais é uma inovação na agricultura, pois, como pressuposto a adição de compostos orgânicos enriquecida com minerais no solo,

eleva potencialmente as propriedades físico-químicas do solo e, consequentemente a produção agrícola (Mumbach et al., 2020; Moreira et al., 2024).

A aplicação de bactérias promotoras de crescimento é uma ferramenta considerada promissora para melhorar a produção quando se estão sob condições ótimas ou regulares (Bigattón et al., 2024). A inoculação com *Azospirillum brasilense* proporcionou resultados relevantes morfológicamente e bioquímicas no cultivo em solos com altos e baixos níveis de nitrogênio, um elemento importante para o desempenho da cultura em campo (Fiorini et al., 2020; Amaral Júnior et al., 2022; Marques et al., 2024).

Com base no exposto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da utilização de fertilizantes organomineral e mineral com doses de 50% e 100%, associadas a inoculação com *Azospirillum brasilense*, sob os componentes de desempenho fisiológico na cultura do amendoim.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – Unidade Universitária de Cassilândia, localizada na propriedade rural, no município de Cassilândia, Mato Grosso do Sul, Brasil (Latitude 19°05'29" S, Longitude 51°48'49" W e altitude de 538 m), onde o clima regional, segundo a classificação de Köppen é tropical chuvoso (Aw).

O experimento foi realizado em casa de vegetação utilizando delineamento experimental em blocos ao acaso com três repetições. Com esquema fatorial 7x2, do qual, o primeiro fator destrinchado em sete tratamentos segmentados com duas doses distintas, sem adubação 0% (controle), organomineral peletizado (50% da dose), organomineral peletizado (100% da dose), organomineral granulado (50% da dose), organomineral granulado (100% da dose), fertilizante mineral (50% da dose), fertilizante mineral (100% da dose). As características dos três fontes de fertilizantes utilizados neste trabalho, são: Fertilizante mineral convencional - Fosfato Monoamônico (MAP- 12%N + 54% P₂O₅) e Cloreto de potássio (KCL- 60% K₂O), dose 100% fornecimento de 42 mg de N, 154 mg de P e 7 mg de K por Kg de solo, adubação com organomineral granulado Supergan nas concentrações de 06%N, 22%P, 01% K + 1%Ca + 2%S e a adubação com organomineral peletizado nas concentrações de 02%N, 02%P, 30%K + 01%Ca + 01%Mg.

O segundo fator avaliado foi analisar a influência na inoculação de sementes com e sem o *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5 e Ab-V6) concentração de UFC - 2x10⁸ por ml, dose de 2ml por kg de sementes.

A análise química do solo foi realizada e os resultados apresentaram condições adequadas para o cultivo. O solo presente nos vasos foi classificado como Neosolo Quartzarênico, tendo, com a seguinte composição no início do experimento: pH – 5,0; P-resina - 5 mg dm⁻³; K – 1,2 mmolc dm⁻³; Ca - 10 mmolc dm⁻³; Mg - 6 mmolc dm⁻³; Capacidade de troca de cátions (CTC) - 33,2 mmolc dm⁻³, Saturação

por bases (V%) 52%, Matéria orgânica (MO) - 9 g dm^{-3} , B - $0,08 \text{ mg dm}^{-3}$, Cu - $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$, Fe - 16 mg dm^{-3} , Zn - $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ e Mg - $6,0 \text{ mg dm}^{-3}$.

As adubações foram realizadas antes da realização da semeadura, em vasos contendo 5 kg de solo, dos quais, foram segmentados em três repetições para cada tratamento, com fertilizante mineral e organomineral com aporte de 50% e 100% da dose. Em seguida, o solo foi revolvido para incorporação do fertilizante e posteriormente a isso, foi realizada a semeadura das sementes com e sem inoculação. Os tratos culturais realizados foram o controle de plantas daninhas manualmente, ao longo do ciclo foram feitas duas aplicações dos inseticidas Nomolt e Engeo Pleno em um volume de 3 litros de calda com doses de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ e $1,0 \text{ ml L}^{-1}$, respectivamente. Como também foi realizada uma aplicação foliar de ácido bórico na pré-florada na dosagem de 1 g L^{-1} , sendo a mesma realizada em 3 litros de calda.

As avaliações foram iniciadas a partir da segunda quinzena do mês de abril e assim decorreu durante as três semanas seguintes, onde os principais fatores a serem analisados foram: Altura de plantas e número de folhas, verificados semanalmente e o número de nódulos presente nas raízes no final das avaliações. Foram coletadas 42 plantas inteiras e encaminhadas ao laboratório para secagem em estufa de 65° graus por um período de 24 horas e posteriormente foi realizada a pesagem da massa seca da parte aérea, raiz e nódulos.



Figura 1. As imagens mostram o processo de coleta de dados: a) Vasos com os tratamentos; b) Avaliações altura e número de folhas.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram testados para distribuição normal e variância homogênea (Shapiro Wilk-Test) e submetidos à análise de variância. A significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada por meio do teste F a 5% de probabilidade. As médias para o fator fertilizante foi utilizado o Scott-Knott e para as inoculações foi comparado usando o teste de Tukey a 5% de probabilidade usando o software SigmaPlot 15 (Systat, 2023).

Além da ANOVA, os dados obtidos foram empregados numa análise multivariada. Sendo realizado agrupamentos utilizando as médias de todas as variáveis mensuradas no experimento. As

distâncias foram estimadas pelo método de distância Euclidiana e, em seguida, agrupados por meio do método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) em combinação com o método de agrupamento de Tocher (Bhering, 2017). Quando observado efeito significativo nos agrupamentos, as médias dos grupos foram visualizadas através de gráficos de calor (heatmap), com o dendrograma, cortados a um valor de $k = 1,25$ segundo Mojema (1977). No gráfico de calor, a cor vermelha representa um valor alto, enquanto a cor azul indica um valor baixo para as variáveis analisadas.

RESULTADOS

Efeito das doses de fertilizantes e inoculação na nodulação e crescimento do amendoim

A interação entre a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal e as doses de fertilizantes foi significativa para o número de folhas ($p \leq 0,05$), massa seca da raiz ($p \leq 0,01$), massa seca de nódulos ($p \leq 0,01$) e massa seca da parte aérea ($p \leq 0,01$) quando mostrados os resultados do ANOVA (Tabela 1). As variáveis AP e NNOD não apresentaram diferenças significativas para nenhum fator isolado, entretanto, a variável CRAIZ apresentou diferenças significativa quando considerado o fator inoculação ($p \leq 0,01$) (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância oriundas das variáveis avaliadas ao inocular com *Azospirillum brasilense* e aplicação de fertilizante organomineral e mineral em semeadura com 50% e 100% da dose no amendoim. Variáveis analisadas em plantas: altura de planta (AP), número de folhas (NFol), comprimento de raiz (CRAIZ), massa seca da raiz (MSR), número de nódulos (NNOD), massa seca de nódulos (MSNOD), massa seca da parte aérea (MSPA).

FV	Quadrado Médio						
	AP	NFol	CRAIZ	MSR	NNOD	MSNOD	MSPA
Fertilizantes (F)	16,52 ns	145,24 **	24,68 ns	2,45 *	4466,60 ns	0,08 ns	8,42 ns
Inoculação (I)	6,42 ns	667,00 *	118,34 **	5,43 *	7614,05 ns	0,25 ns	46,54 **
F x I	11,80 ns	204,46 *	26,26 ns	2,82 **	3039,11 ns	0,40 **	17,59 **
CV (%)	12,76	24,01	12,10	22,56	70,79	58,85	19,50

Nota: *significância a 5% de probabilidade, ** significância a 1% de probabilidade; ns não significativo. FV: fontes de variação. CV: Coeficiente de variação.

Neste estudo foi possível observar que não houve diferença significativa na variável NFol de amendoim nas aplicações de diferentes doses dos fertilizantes quando associado a inoculação com *A. brasilense* em comparação a dose 100% fertilizante mineral convencional. Para esta mesma variável (NFol), e considerada a ausência de aplicação do *A. brasilense*, observasse que o fertilizante mineral em ambas as doses (50% ou 100%) aplicadas mostrou-se superior ao resto dos tratamentos com 32,75 e 44,67 números de folhas, respectivamente. Entretanto, os dados indicam que plantas quando cultivadas sob manejo com fertilizante organomineral na forma peletizada em ambas as doses e sem o uso da inoculação com *A. brasilense*, apresentaram resultados inferiores em relação aos demais tratamentos estudados. Analisando a presença ou ausência da bactéria (Tabela 2), com o uso de diferentes fontes, observa-se que para o

controle (0%), 100% e 50% granulado e 50% mineral não houve diferenças estatísticas pelo teste Tukey ($p < 0,05$) para NFol, entretanto, na dose de 100% mineral a ausência da bateria promoveu os melhores resultados (Tabela 2). Dentre os tratamentos vinculados a inoculação com *A. brasilense*, os tratamentos utilizando fertilizante peletizado em ambas as doses, manifestaram os maiores valores com 41,13 folhas no 100% P e 40,5 folhas no 50% P, evidenciando a relação que este tipo de fertilizante pode ter com a bateria e seu desempenho na planta.

Tabela 2. Comparação de médias pelo teste de Tukey dos dados obtidos em plantas do experimento conduzido em estufa para as variáveis que manifestaram interação número de folhas (NFol), massa seca da raiz (MSR), massa seca de nódulos (MSNOD), e massa seca da parte aérea (MSPA)] oriundo de experimento que envolve inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e aplicação de organomineral e mineral em amendoim.

A. brasilense	NFol (unidade)						
	0% C	100% G	100% M	100% P	50% G	50% M	50% P
COM	25,42 Aa	38,00 Aa	29,25 Ab	41,13 Aa	34,63 Aa	40,88 Aa	40,5 Aa
SEM	20,00 Ba	27,75 Ba	44,67 Aa	18,83 Bb	24,5 Ba	32,75 Aa	25,5 Bb
MSR (g)							
COM	4.16 Ba	3.85 Ba	2,69 Bb	4.16 Ba	4,34 Ba	5,76 Aa	5,07 Aa
SEM	3.63 Ba	3.54 Ba	4,63 Aa	2.91 Ba	2,67 Bb	4,92 Aa	2,69 Bb
MSNOD (g)							
COM	0.36 Ba	0.53 Ba	0,10 Bb	0,85 Aa	0,93 Aa	0,45 Ba	0.45 Ba
SEM	0.23 Ba	0.25 Ba	0,78 Aa	0,13 Bb	0,20 Bb	0,75 Aa	0.26 Ba
MSPA (g)							
COM	7.8 Aa	11,03 Aa	8,40 Bb	11,86 Aa	11,04 Aa	11,81 Aa	12,32 Aa
SEM	7.0 Ca	9,32 Ba	12,88 Aa	6,67 Cb	6,70 Cb	9,94 Ba	6,97 Cb

Nota: Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e letra minúscula na linha, respectivamente. Controle (C), granulado (G), mineral (M), peletizado (P).

A interação entre a inoculação com bactérias promotoras de crescimento vegetal e as doses de fertilizantes, conforme observado na Tabela 2 e ilustrado na Figura 2. Observa-se que o uso de *A. brasilense* combinado com a dose de 50% de fertilizante organomineral granulado e peletizado resultou em um aumento da MSR em relação aos outros tratamentos (Controle, 100% do fertilizante mineral, granulado e peletizado, e 50% do fertilizante organomineral granulado) (Tabela 2). Quando não associado a inoculação a dose de 50% e 100% do fertilizante mineral evidenciou melhor desempenho para a variável MSR evidenciando diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos. Ao considerar a comparação dentro de cada um dos tratamentos aplicados observa-se que no controle, 100% G e P, e 50% M não foram manifestadas diferenças entre a aplicação e a ausência da bateria *A. brasilense* para a MSR (Tabela 2). Na dose 100% M a ausência da bateria manifestou melhor comportamento, com 4,63 g em relação a 2,69 g na presença da bateria. Nas doses 50% G e P o resultado foi invertido, a presença da

bateria *A. brasilense* promoveu os melhores desempenhos de MSR com valores de 4,34g e 5,07g, respectivamente.



Figura 2. Cultura do amendoim submetida a inoculação com *A. brasilense* e uso de diferentes fontes de fertilizantes. a) raiz com aporte de organomineral associado a inoculação com *A. brasilense* a esquerda e a direita o controle; b) Parte aérea com 50% organomineral peletizado com inoculação de *A. brasilense* a esquerda e a direita controle; c) 100% organomineral peletizado com inoculação de *A. a* esquerda e *brasilense* e a direita o tratamento controle; e) 50% fertilizante mineral com inoculação de *A. brasilense* a esquerda e a direita o controle. Fonte: Arquivo pessoal.

Na variável MSNOD é possível analisar que os tratamentos com 100% P e 50% G apresentaram resultados superiores sob inoculação com *A. brasilense* (Tabela 2). Ao analisar os mesmos tratamentos sem realização da inoculação é possível observar que as doses de 100% e 50% fertilizante mineral apresentaram resultados superiores em relação aos demais tratamentos (Tabela 2), com valores de 0,78g e 0,75g, respectivamente. Ao comparar dentro de cada um dos tratamentos aplicados observasse que no controle, 100% G, e 50% M e P não foram manifestadas diferenças entre a aplicação e a ausência da bateria *A. brasilense* para a MSNOD (Tabela 2). Na dose 100% M a ausência da bateria manifestou melhor comportamento, com 0,78 g em relação a 0,10 g na presença da bateria. Nas doses 100% P o 50% G o resultado foi invertido, a presença da bateria *A. brasilense* promoveu os melhores desempenhos de MSNOD com valores de 0,85g e 0,93g, respectivamente. Os incrementos a favor da bateria foram de 553% e 365%, respectivamente, quando considerados os tratamentos de 100% P o 50% G e aplicação da bateria *A. brasilense*.

A MSPA quando associada a inoculação com *A. brasilense* foi superior na maioria dos tratamentos, com a exceção de 100% M que manifestou o menor desempenho diferenciando-se dos outros (Tabela 2). Em contrapartida, 100% M obteve maior desempenho e se diferencia dos outros tratamentos quando não submetidas a inoculação. Analisando os dados da comparação dentro de cada tratamento (Tabela 2),

os tratamentos controle, 100% G, e 50% M não manifestaram diferenças estatísticas ao comparar as médias pelo teste Tukey ($p < 0,05$) e considerar a presença ou ausência da bateria aplicada no amendoim. O emprego da inoculação mostrou-se estimulante da MSPA quando aplicados os tratamentos 100% P, 50% G e P (Tabela 2). A ausência da aplicação da bateria apenas estimulou quando combinado com 100% M com valores de 12,88g em relação a 8,40g, diferença que representa um incremento de 53%.

Análise de agrupamento pelo UPGMA

Análises de agrupamento foram conduzidos e isolado neles os efeitos dos tipos de fertilizantes, sendo construído uma figura de mapa de calor para o fertilizante organomineral (Figura 3), mineral (Figura 4) e peletizado (Figura 5). A análise de agrupamento, conduzida por meio de um mapa de calor gerada pelo software Rbio, indicou agrupamentos dos tratamentos e das variáveis empregadas dentro de cada uma das figuras associadas com cada um dos fertilizantes aplicados na cultura do amendoim.

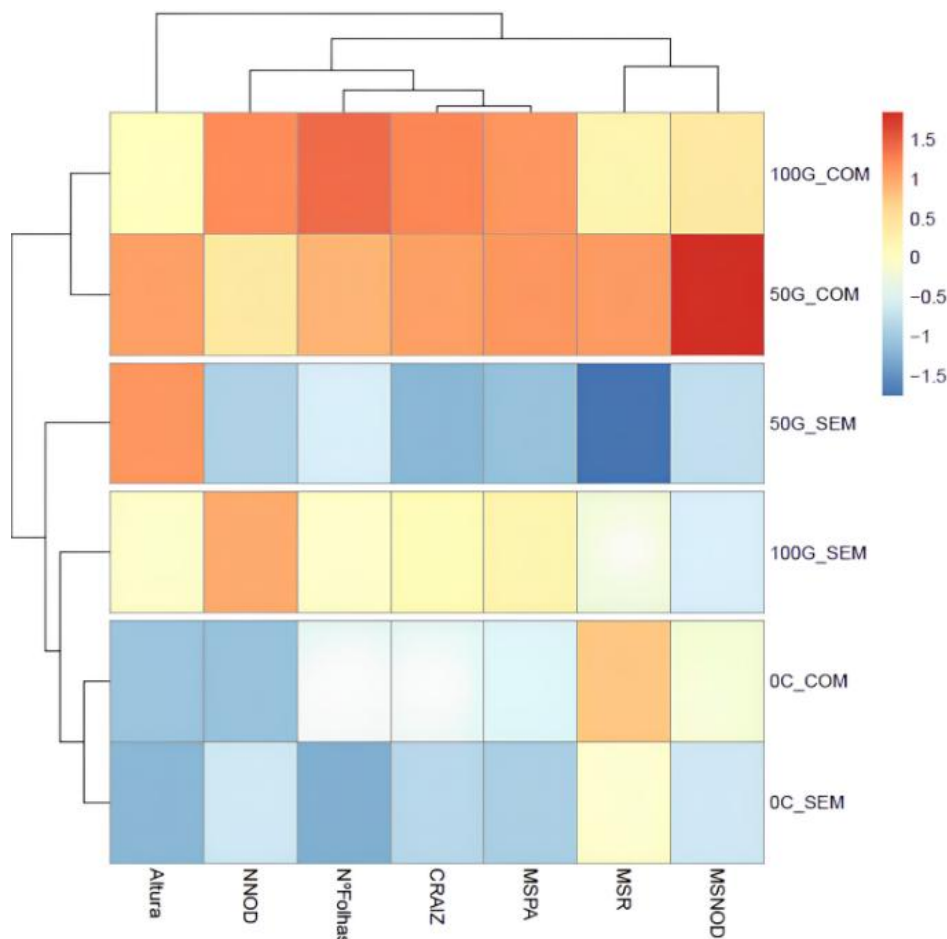


Figura 3. Análise de agrupamento pelo UPGMA obtido ao empregar uso de fertilizante organomineral granulado nas doses de 100% e 50%, com se sem inoculação com *Azospirillum brasilense*. 0% controle_sem inoculação, 0% controle_com inoculação, 100% granulado_com inoculação (100_COM), 100% granulado_sem inoculação (100G_SEM), 50% granulado_com inoculação (50G_COM), 50% granulado_sem inoculação (50G_SEM), parâmetros de crescimento: Altura; número de nódulos - NNOD; número de folhas - N°Folhas; comprimento de raiz -CRAIZ; massa seca da parte aérea -MSPA; massa seca da raiz -MSR; massa seca de nódulos -MSNOD.

Analisando o mapa de calor (Figura 3) ao empregar uso de fertilizante organomineral granulado é possível observar que ocorre a formação de quatro grupos entre os tratamentos. Um primeiro grupo com o 100G_COM e 50G_COM mostrando a superioridade desses tratamentos em relação aos outros aplicados quando considerada a fonte organomineral granulado em combinação com a bateria (Figura 3). Um segundo e terceiro grupo formados pelos tratamentos 50G_SEM e 100G_SEM, respectivamente, ambos com um comportamento intermediário (Figura 3). Um quarto grupo agrupou os tratamentos controles (0C_COM e 0C_SEM), os quais manifestaram os menores valores se considerada a escala de cor que a figura mostra. Esta diferenciação mostra a superioridade do tratamento associado com inoculação independente das doses, quando utilizado fonte de organomineral granulado. A utilização do *A. brasilense*, resultou no aumento acentuado na maioria das variáveis analisadas, com forte dominância das cores vermelhas e laranja (Figura 3).

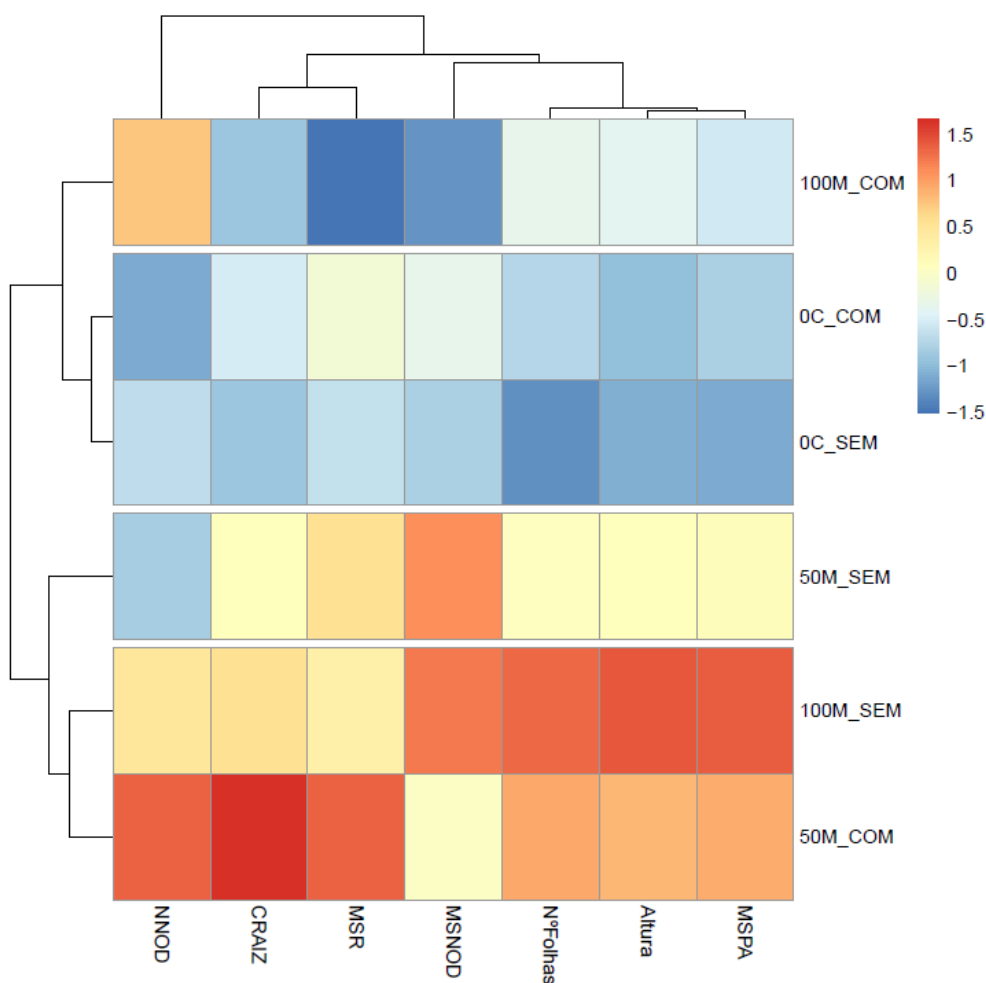


Figura 4. Análise de agrupamento pelo UPGMA obtido ao empregar uso de fertilizante mineral convencional nas doses de 100% e 50%, com se sem inoculação com *Azospirillum brasilense*. 0% controle_com inoculação (0C_COM), 0% controle_sem inoculação (0C_SEM), 100% mineral_com inoculação (100M_COM), 100% mineral_sem inoculação (100M_SEM), 50% mineral_com inoculação (50M_COM), 50% mineral_sem inoculação (50M_SEM), parâmetros de crescimento: Altura; número de nódulos -NNOD; número de folhas - NºFolhas; comprimento de raiz -CRAIZ; massa seca da parte aérea -MSPA; massa seca da raiz -MSR; massa seca de nódulos -MSNOD.

Na Figura 4 mostra um mapa de calor associado com os parâmetros de crescimento da cultura do amendoim ao empregar uso de fertilizante mineral convencional. É possível observar que ocorre a formação de quatro grupos distintos (Figura 4), um com o 100M_SEM e 50M_COM, um segundo grupos formado apenas por 50M_SEM, um terceiro grupo formado por OC_COM e OC_SEM e por último um quarto grupo formado apenas por 100M_COM. Dentre os quatro grupos obtidos o grupo um formado pelos tratamentos 100M_SEM e 50M_COM foi quem manifestou os maiores valores associados com todas as sete variáveis (Figura 4). Para o número de folhas, massa seca do nódulo, massa seca da parte aérea e altura no amendoim, sob doses de 100% do fertilizante mineral não associado a inoculação com *A. brasilense*. Em contrapartida, os resultados foram relevantes para o comprimento de raiz, número de nódulos, massa seca de raiz, número de folhas, altura e massa seca da parte aérea sob doses de 50% do fertilizante mineral associado a inoculação com *A. brasilense*. Diante disso, é possível afirmarmos que um dos fatores que limitaram na eficácia do tratamento com 100% do fertilizante mineral convencional sob inoculação de *A. brasilense* está relacionado ao excesso de salinidade no meio, que faz com que as bactérias não desempenhassem positivamente nas condições testadas.

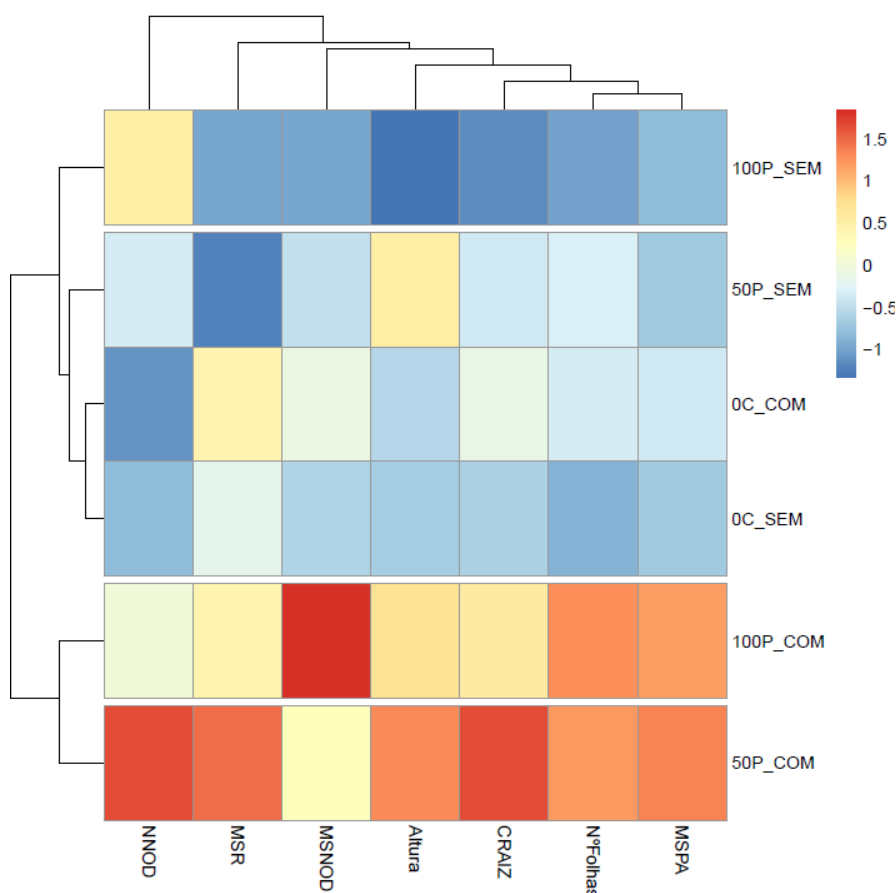


Figura 5. Análise de agrupamento pelo UPGMA obtido ao empregar uso de fertilizante organomineral peletizado nas doses de 100% e 50%, com se sem inoculação com *Azospirillum brasilense*. 0% controle_com inoculação (0C_COM), 0% controle_sem inoculação (0C_SEM), 100% peletizado_com inoculação (100P_COM), 100% peletizado_sem inoculação (100P_SEM), 50% peletizado_com inoculação (50P_COM), 50% peletizado_sem inoculação (50P_SEM) parâmetros de crescimento: Altura; número de nódulos -NNOD; número de folhas - NFolhas; comprimento de raiz -CRAIZ; massa seca da parte aérea -MSPA; massa seca da raiz -MSR; massa seca de nódulos -MSNOD.

É possível observar no mapa de calor (Figura 5) o agrupamento entre vários parâmetros de crescimento e tratamentos associados com o uso de bactéria *A. brasilense* e um fertilizante peletizado. Quando avaliados é possível observar que ocorre a formação de quatro grupos entre os tratamentos, um primeiro grupo com apenas o 100P_SEM, um segundo grupo com os tratamentos 50P_SEM, 0C_COM, 0C_SEM, um terceiro e um quarto grupo, com apenas um tratamento 100P_COM e 50P_COM, respectivamente (Figura 5). Quando observado os quatro grupos formados observasse que o terceiro e quarto grupo, ambos com a presença da bateria no tratamento aplicado, evidenciam a maior superioridade quanto a desempenho das variáveis medidas no experimento ao avaliar o amendoim em condições controladas. As variáveis massa seca de nódulos, parte aérea e número de folhas no amendoim, sob doses de 100% do fertilizante mineral associado a inoculação com *A. brasilense* apresentaram um crescimento acentuado. Em contrapartida, os resultados foram relevantes para massa seca da parte aérea e raiz, comprimento de raiz, número de nódulos, número de folhas e altura sob doses de 50% do fertilizante organomineral peletizado associado a inoculação com *A. brasilense*, caracterizados pelas cores predominantes vermelho e laranja, o que evidencia que para este fertilizante peletizado a melhor combinação foi 50P_COM (Figura 5).

DISCUSSÃO

A inoculação com *A. brasilense* gerou grande impacto como estratégia de fomentar o manejo sustentável e aumento na produtividade agrícola. A utilização de bactérias promotoras de crescimento, propiciam benéficamente no crescimento de plantas e, auxilia no uso de recursos pelas plantas, além, de mitigar os riscos de contaminação ambiental resultante da capacidade biológica de fixação de nitrogênio da bactéria (Schaefer et al., 2019; Adedayo, Babalola, 2023). Em nosso estudo, foi identificado maior massa seca de nódulos sob inoculação via semente de *A. brasilense* nas fontes de organomineral peletizado e granulado sob doses de 100% e na dose de 50% com fertilizante mineral convencional. A inoculação com *A. brasilense* e a utilização de fontes organomineral elevou a qualidade do solo e características morfológicas das plantas quando comparado ao mineral convencional (Smiderle et al., 2024). Zuffo et al. (2019), analisaram efeitos de altas doses nitrogênio na soja e, verificou que houve inibição da matéria seca dos nódulos com a aplicação das doses de N. Tais resultados se assemelham com os encontrados nesta variável que recebeu 100% da dose de fertilizante mineral e se mostrou mais responsiva a MSNOD quando não associada à inoculação com *A. brasilense*, desempenhos esses que podem estar vinculados com a fonte de N empregada no fertilizante mineral convencional, como também a solubilidade do produto e índice salino dos mesmos, dos quais, possuem capacidade de alterar a dinâmica do microbiota do solo.

Didonet (1993) evidenciou o incremento do crescimento radicular no trigo, com uso de *Azospirillum*, dos quais variaram entre 33,3% a 47,5% em relação ao controle. Com isto, podemos analisar

que uma maior área radicular beneficiará em uma absorção de água e nutrientes mais eficiente, resultando em um desenvolvimento robusto e estruturado da planta. Neste estudo, foi identificado um crescimento radicular maior sob inoculação via semente com *A. brasilense*, além disso, houve um aumento na massa seca de raiz. Resultados que corroboraram para um maior número de folhas e massa seca da parte aérea com o uso das doses de 50% e 100% com organomineral peletizado e, 50% da dose do fertilizante mineral convencional. Trabalhos confirmam que o *Azospirillum* produz fitohormônios que estimulam o crescimento em diversas espécies de plantas (Hungria, 2011). Há efeitos positivos da inoculação com *A. brasilense* em plantas de trigo quando há fertilização baixa ou moderada, o que indica a importância do papel da bactéria em estimular o desenvolvimento radicular e não a fixação do próprio N atmosférico (Besen et al., 2020; Dobbelaere et al., 2002).

Em geral, quando a inoculação com *Azospirillum* foi associada a 75% da dose complementar de N, o crescimento das plantas foi superior ao das não inoculadas que receberam 100% de N. Dito isso, a substituição de 25% do fertilizante nitrogenado por *Azospirillum* é lucrativa para o agricultor e para o meio ambiente (Fukami et al., 2016). A eficiência de *Azospirillum* spp. pode ser negativamente afetada pela presença de altos níveis de fertilizantes nitrogenados, devido à rápida diminuição da atividade da nitrogenase (Hartmann, 1988). Em nosso estudo é possível analisar, partindo do fato em que, o uso de fertilizante mineral convencional, do qual, a proporção de nitrogênio entregue é predominantemente maior e de liberação mais rápida em relação a formulação do organomineral utilizado. Devido a isso, plantas de milho inoculadas e que receberam 100% de N na forma ureia, o efeito da inoculação com *Azospirillum* foi em geral anulado (Hungria, 2011).

Com base nos presentes resultados e aqueles evidenciados pela literatura, constata-se a importância de estudos aprofundados sobre doses e fontes de fertilizante quando associadas ao uso de *A. brasilense* em espécies como o amendoim. Visando analisar efeitos de interesse econômico, tendo em vista o uso eficiente e sustentável de fertilizantes.

A utilização das doses de 50% e 100% apresentaram resultados expressivos quando não associado a inoculação com *A. brasilense*. Por outro lado, o uso da dose de 50% do fertilizante organomineral, sendo ele granulado ou peletizado se mostraram promissores quando inoculados com *A. brasilense* apresentando efeitos significativos para massa seca da parte aérea, massa seca dos nódulos, massa seca da raiz, número de folhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adedayo, A., & Babalola, O. O. (2023). Genomic mechanisms of plant growth-promoting bacteria in the production of leguminous crops. *Frontiers Genet.* 14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1276003>

- Amaral Júnior, W. E., Esteves, F. R., Menezes Filho, A. C. P., & Ventura, M. V. A. (2022). Evaluation of *Azospirillum brasilense* dose response on fresh and dry matter of shoot and root of corn plants. 9(4), e6993. <https://doi.org/10.32404/rean.v9i4.6993>
- Arya, S. S., Salve, A. R., & Chauhan, S. (2016). Peanuts as functional food: a review. Journal of food science and technology, 53(1), 31-41. 10.1007/s13197-015-2007-9
- Besen, M. R., Neto, A. F. G., Neto, M. E., Zampar, E. J. O., Costa, E. J. O., Cordioli, V. R., Inoue, T. T., & Batista, M. A. (2020). Nitrogen fertilization and leaf spraying with *Azospirillum brasilense* in wheat: effects on mineral nutrition and yield. Revista de Ciências Agroveterinárias. 19(4), 483-493. <https://doi.org/10.5965/223811711942020483>
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 17, 187-190.
- Bigattón, E. D., Ayoub, I., Palmero, F., Castillejo, M. A., Vázquez, C., Lucini, E. I., & Haro, R. (2024). Plant-growth promoting rhizobacteria on peanuts: Effects on yield determination, growth rates, and radiation use efficiency in field trials in Argentina. Journal Agronomy. 154. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127113>
- Biswal, A. K., Ozias-akins, P., & Holbrook, C. C. (2024). Recent Technological Advancements for Identifying and Exploiting Novel Sources of Pest and Disease Resistance for Peanut Improvement. Agronomy. 14(12), e3071. <https://doi.org/10.3390/agronomy14123071>
- Didonet, A. D. (1993). Aspectos do mecanismo de ação fisiológica associado à promoção do crescimento radicular de trigo (*Triticum aestivum* L.) por bactérias do gênero *Azospirillum*. Pesq. Embrapa-CNP Trigo. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.1993.71827>
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Okon, Y., & Vanderleyden, J. (2002). Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. Biology and Fertility of Soils. 36(4), 284-297. 10.1007/s00374-002-0534-9
- Fiorini, I. V. A., Pereira, C. S., Schoffen, M. E., Tonial, M. E., Sabino, D. C. C., & Silva, A. A. (2020). Methods of application and doses of inoculation with *Azospirillum* in agronomic performance of off-season corn crop. Revista Agrogeoambiental. 12(3). <https://doi.org/10.18406/2316-1817v12n320201513>
- Frezzarin, E. T., Santos, C. H. B., Sales, L. R., dos Santos, R. M., de Carvalho, L. A. L., & Rigobelo, E. C. (2023). Promotion of peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth by plant growth-promoting microorganisms. Microbiology Research, 14(1), 316-332. <https://doi.org/10.3390/microbiolres14010025>
- Fukami, J.; Nogueira, M. A.; Araujo, R. S.; Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. AMB Expr. 6 (3), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

- Hartmann, A. (1988). Ecophysiological aspects of growth and nitrogen fixation in *Azospirillum* spp. *Revista Solo Vegetal*. 110(2), 225-238. [10.1007/BF02226803](https://doi.org/10.1007/BF02226803)
- Hungria, M. (2011). Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. *Embrapa Soja*. 1, 36.
- Marques, D. M., Magalhães, P. C., Marriel, I. E., Silva, A. B., Almeida, L. G., & Souza, T. C. (2024). *Azospirillum brasilense* inoculation improves the morphophysiological aspects of maize in soils with high and low nitrogen contents. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 23, e1356. <https://doi.org/10.18512/rbms2024v23e1356>
- Mojema, R. (1977). Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. *Comput. J.* 20: 359-363. <https://doi.org/10.1093/comjnl/20.4.359>
- Moreira, A. C., Guimarães, C. M., Moraes, E. R., Pereira, J. L., Teles, J. B. Q., Peixoto, J. V. M., Melo, E. A., & Tome, A. C. (2024). Proporções de fertilizantes minerais e organominerais no cultivo de cebolas. 21(5), e3800. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-067>
- Mumbach, G. L., Gatiboni, L. C., Bona, F. D., Schmitt, D. E., Corrêa, J. C., Gabriel, C. A., Dall'Orsoletta, D. J., & Lochims, D. A. (2020). Agronomic efficiency of organomineral fertilizer in sequential grain crops in southern Brazil. 112(4), 3037-3049. <https://doi.org/10.1002/agj2.20238>
- Neves, F. P., Leite, A. R., Mantovani, P. L., Da Silva, C., Gabriel Filho, L. R. A., & De Oliveira, S. C. (2023). The economic importance of the peanuts production chain. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. 17. <https://doi.org/10.18011/bioeng.2023.v17.1186>
- Schaefer, P. E., Martin, T. N., Pizzani, R., & Schaefer, E. L. (2019). Inoculation with *Azospirillum brasilense* on corn yield and yield components in an integrated crop-livestock system. *Acta Scientiarum Agronomy*. 41(1) e39481. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39481>
- Smiderle, O. J., Souzam A. G., Lima Primo, H. E., & Fagundes, P. R. O. (2024). Efficiency of organomineral fertilizer and doses of *Azospirillum brasilense* on the morphophysiological quality of *Mezilaureus itauba* seedlings. *Brazilian Journal of Biology*. 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279851>
- Systat Software (2023). SigmaPlot 15. Disponível em: <http://www.sigmaplot.com>
- Toomer, O. T. (2017). Nutritional chemistry of the peanut (*Arachis hypogaea*). *Revisões Críticas em Ciência e Nutrição de Alimentos, Manuseio*. 58(17), 3042-3053. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1339015>
- Uddin, M. K., Saha, B. K., & Patti, A. F. (2024). Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact: A comprehensive review. *Journal of Agronomy*. 162, 127-433. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127433>
- Xie, M., Wang, Z., Xu, X., Zheng, X., Liu, H., & Shi, P. (2020). Quantitative estimation of the nutrient uptake requirements of peanut. *Agronomy*, 10(1), 119. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010119>

Zuffo, A. M., Steiner, F. Busch, A., Santos, D. M. S. (2019). Adubação nitrogenada na soja inibe a nodulação e não melhora o crescimento inicial das plantas. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente. 12(2), 333-349. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p333-349>

Índice Remissivo

A

Ácido salicílico, 35

Azospirillum brasilense, 50, 52, 53, 55, 56, 57, 62

B

bacias hidrográficas ottocodificadas, 7, 9, 10,
11, 12, 13, 14, 15, 16, 18

F

Fertilizante mineral convencional, 50

G

geoprocessamento, 9

gestão hídrica, 11

O

organização hidroterritorial, 7, 9, 18

P

Plantas, 37

Primeira contagem de germinação, 25

R

regiões hidrográficas, 6, 7, 10, 17

S

Silício biogênico, 21

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 237 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 131 resumos simples/expandidos, 86 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 197 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 71 organizações de e-books, 55 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agronômica. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica, Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br

Pantanal Editora

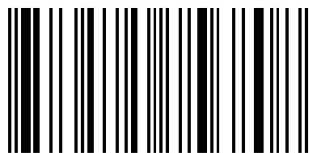
Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br



9786585756808