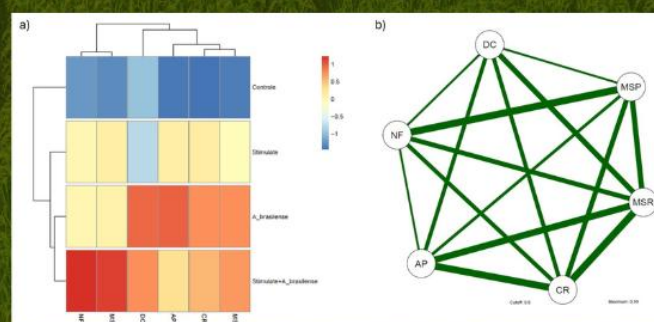
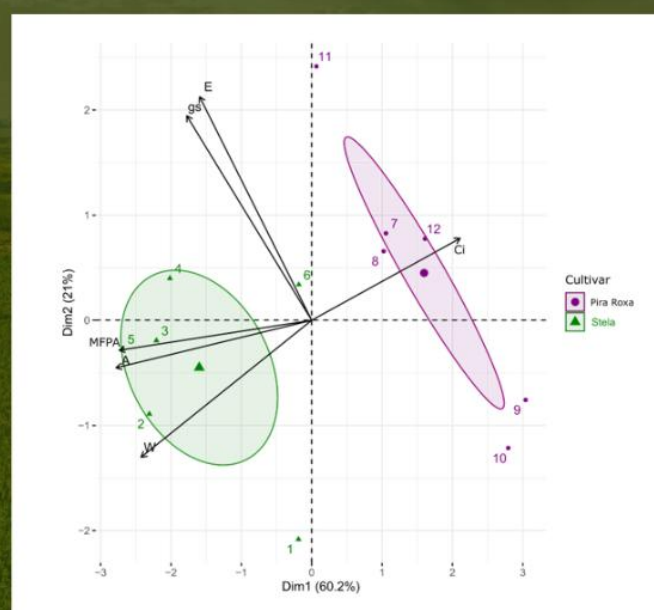


Jorge González Aguilera
Leandris Argente-Mantínez
Alan Mario Zuffo
Bruno Rodrigues de Oliveira
Fábio Steiner

Organizadores

**Análise
Multivariada:
aplicações
nas ciências
biológicas**
Volume I



Jorge González Aguilera
Leandris Argente!-Mantínez
Alan Mario Zuffo
Bruno Rodrigues de Oliveira
Fábio Steiner
Organizadores

Análise multivariada: aplicações nas
ciências biológicas
Volume I



Pantanal Editora

2025

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)
IF SUDESTE MG
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

A532

Análise multivariada: aplicações nas ciências biológicas - Volume I / Organização de Jorge González Aguilera, Leandris Argente-Mantínez, Alan Mario Zuffo, et al. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025. 70p. ; il.

Outros organizadores: Bruno Rodrigues de Oliveira, Fábio Steiner.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-70-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756709>

1. Métodos e técnicas em biologia. I. Aguilera, Jorge González (Organizador). II. Argente-Mantínez, Leandris (Organizador). III. Zuffo, Alan Mario (Organizador). IV. Título.

CDD 570.1

Índice para catálogo sistemático

I. Métodos e técnicas em biologia



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

A Editora Pantanal apresenta o e-book “Análise Multivariada: aplicações nas ciências biológicas Volume I”, uma obra que consolida a missão de divulgar conhecimento científico de forma acessível, multidisciplinar e de qualidade. Este volume reúne pesquisas e reflexões atuais das possíveis aplicações das técnicas multivariadas (TM) nas áreas de ciências biológicas, elaboradas por estudantes de mestrado da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS. Os trabalhos incluem resultados aplicados recentemente ao Cerrado Sul-mato-grossense.

Os estudos destacam inicialmente dois capítulos que abordam o controle químico do trips-do-prateamento na cultura do amendoim e como o controle pode ser feito com pulverização foliar ou aplicação no sulco de semeadura com uso de produtos químicos e biológicos. Nestes capítulos se observa que ao empregar TM facilita-se o entendimento dos resultados facilitando a escolha dos melhores tratamentos. Um terceiro capítulo mostra cultivares de alface sendo influenciadas após a aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense*. Um quarto capítulo traz resultados relacionados aos efeitos da deficiência hídrica no desenvolvimento do sorgo no Cerrado Sul-mato-grossense. Por último, o capítulo quinto traz a experiência que aborda o desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob aplicação de bioestimulante e *Azospirillum brasilense*.

Os resultados mostrados evidenciam o poder de discriminação que as análises multivariadas têm e como elas podem ser aplicadas em diversas culturas e tratamentos para melhor reconhecer as interações que entre eles surgem ao conduzir um experimento de campo ou condições controladas. Estes achados mostram como o uso de bioinsumos, principalmente *Azospirillum brasilense*, continua sendo uma ferramenta de destaque na agricultura na remediação muitas vezes de estresses abióticos. Esta nova coleção de conteúdo inédito em seu primeiro Volume reafirma o compromisso da Editora Pantanal com a produção e disseminação do conhecimento científico, estimulando práticas inovadoras, sustentáveis e socialmente relevantes. Trata-se de um compromisso constante pela excelência das obras propostas direcionado a estudantes, professores, pesquisadores e todos aqueles que buscam compreender e intervir de forma crítica e transformadora nos desafios contemporâneos nas ciências biológicas e áreas afins.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Análise multivariada no controle químico do tripses-do-prateamento em pulverização foliar na cultura do amendoim	6
Capítulo 2	15
Controle de tripses-do-prateamento pelo tratamento de sementes ou pulverização no sulco de semeadura do amendoim	15
Capítulo 3	26
Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de alface sob aplicação de nicotinamida, piridoxina e <i>Azospirillum brasilense</i>	26
Capítulo 4	37
Deficiência hídrica afeta o desenvolvimento do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.)	37
Capítulo 5	46
Desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob aplicação de bioestimulante e <i>Azospirillum brasilense</i>	46
Capítulo 6	59
Efeito da aplicação de diferentes doses de níquel e nitrogênio no desempenho do gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L.)	59
Índice Remissivo	68
Sobre os organizadores	69

Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de alface sob aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense*

Recebido em: 26/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap3

Vanessa Ribeiro 

Tassila Aparecida do Nascimento de Araújo 

Eduardo Pradi Vendruscolo 

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas no Brasil e no mundo, com um total de 83,9 mil toneladas de volume comercializado nos principais atacadistas do país (Embrapa, 2023) e uma produção brasileira estimada em 4,26 milhões toneladas para 2025 (CONAB, 2025). A cultura se destaca por seu ciclo de cultivo curto, elevado valor nutricional e relevância para a agricultura e o setor hortícola (Siquieroli et al., 2025). No entanto, o cultivo intensivo enfrenta desafios relacionados a fatores ambientais e nutricionais. Assim, a adoção de práticas sustentáveis e tecnologias que aprimoram o vigor e a eficiência nutricional é fundamental para garantir mudas e cultivos rentáveis (Santander et al., 2024).

Nesse contexto, o uso de bioestimulantes se destaca como uma alternativa promissora na agricultura, por atuar modulando processos fisiológicos essenciais, como germinação, absorção de nutrientes, desenvolvimento radicular e tolerância ao estresse (Franzoni et al., 2022; Shahrajabian et al., 2021). Esses compostos podem incluir substâncias orgânicas, reguladores de crescimento e microrganismos promotores de crescimento de plantas, contribuindo para maior produtividade e sustentabilidade agrícola (Meena, Birthal, & Kumara, 2025).

Dentre os compostos bioativos utilizados como bioestimulantes, destacam-se as vitaminas nicotinamida (vitamina B3) e piridoxina (vitamina B6), que desempenham papéis cruciais como cofatores enzimáticos em reações metabólicas essenciais, incluindo respiração, fotossíntese, síntese de aminoácidos e regulação hormonal em plantas (Araújo et al., 2024a; Fitzpatrick, 2024; Vendruscolo et al., 2025). A aplicação exógena dessas vitaminas tem demonstrado potencial para melhorar o crescimento radicular, o acúmulo de biomassa e a tolerância das plantas a condições de estresse, configurando-se como ferramentas promissoras no manejo fisiológico de hortaliças (Garcia et al., 2023; Vendruscolo et al., 2023).

Além disso, a combinação dessas vitaminas com microrganismos promotores de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, pode potencializar os efeitos benéficos no desenvolvimento vegetal (Ribeiro

et al., 2024; Sun et al., 2025). Este gênero bacteriano é notável por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, sintetizar fitormônios, como auxinas e giberelinas, e estimular o crescimento radicular, promovendo uma melhor absorção de água e nutrientes (Giri et al., 2025). A interação sinérgica entre vitaminas e microrganismos rizosféricos representa uma abordagem inovadora e sustentável para aumentar a eficiência fisiológica das plantas (Melo et al., 2025). Entretanto, é importante realizar mais estudos que avaliam a interação entre vitaminas do complexo B e microrganismos promotores de crescimento em hortaliças folhosas.

Assim, parte-se da hipótese de que a aplicação combinada de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense* pode favorecer o crescimento e o desempenho fisiológico de cultivares de alface. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos dessas combinações sobre variáveis fisiológicas e produtivas de alface cultivada em ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido nas instalações da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia-MS (19°06'22" S; 51°43'21" O; alt. 516 m), no período de maio a julho de 2023, em região de clima tropical úmido (classificação de Köppen Aw) (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020)

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×6, sendo o primeiro fator constituído por duas cultivares (Pira Roxa e Stella) e o segundo por seis tratamentos bioestimulantes, com quatro repetições cada, perfazendo 24 unidades experimentais. Cada repetição foi constituída por uma planta. Os tratamentos consistiram em combinações de bioestimulantes e microrganismos promotores de crescimento, conforme descrito: T1 foi o controle, sem aplicação de bioestimulantes; T2 recebeu 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense*; T3 foi tratado com 300 mg L⁻¹ de Nicotinamida (vitamina B3); T4 recebeu a combinação de 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense* com 300 mg L⁻¹ de Nicotinamida; T5 recebeu 300 mg L⁻¹ de Piridoxina (vitamina B6); e T6 foi tratado com 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense* combinado com 300 mg L⁻¹ de Piridoxina. O *A. brasilense* utilizado foi composto pelas estirpes Ab-V5 e Ab-V6, com garantia de 2×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) mL⁻¹ (AzoTotal®). As fontes de nicotinamida e piridoxina apresentavam 100% de pureza do princípio ativo (p.a.), sendo provenientes de laboratório especializado (Acs Científica®).

Foram utilizadas mudas de alface, adquiridas comercialmente em bandejas com 200 células e transplantadas para vasos plásticos com volume de 5 L assim que apresentavam aproximadamente três folhas verdadeiras. O substrato utilizado consistiu no composto comercial “Carolina Soil”, à base de turfa, casca de pinus e vermiculita expandida, escolhido por sua adequada estrutura para o desenvolvimento inicial de hortaliças (Carolina soil, 2025).

Os tratamentos foram realizados numa única aplicação via foliar, no dia subsequente ao transplântio, utilizando pulverizador manual de 500 ml, umedecendo até o ponto de molhamento

uniforme das folhas. A adubação de cobertura foi realizada aos 21 dias após o transplântio, com aplicação de 45 kg há⁻¹ de nitrogênio (N) e 45 kg ha⁻¹ de potássio (K), conforme as recomendações técnicas para a cultura da alface (Hong et al., 2022).

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 38 dias após a aplicação dos tratamentos, utilizando um medidor portátil de fotossíntese (IRGA) para determinação das variáveis de trocas gasosas, incluindo concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa fotossintética líquida (A), eficiência instantânea no uso da água (W) e eficiência instantânea de carboxilação (EICI). Essas variáveis foram selecionadas por representarem de maneira integrada o desempenho fisiológico das plantas, permitindo inferir os efeitos dos bioestimulantes na assimilação de carbono, na regulação estomática e na eficiência metabólica. Embora o *Azospirillum brasilense* seja amplamente reconhecido por estimular o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes, não foram realizadas avaliações diretas das raízes. No entanto, as respostas das trocas gasosas oferecem evidências indiretas sobre o funcionamento do sistema radicular, pois refletem a capacidade da planta de atender à demanda hídrica e nutricional da parte aérea. A colheita foi realizada aos 40 dias após o transplântio, ocasião em que foi mensurada a variável produtiva massa fresca da parte aérea das plantas (MFPA).

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA) para todas as variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas, com posterior comparação de médias pelo teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, procedeu-se à análise multivariada por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), utilizada para identificar padrões de agrupamento e a contribuição das variáveis fisiológicas para a distinção entre os tratamentos e cultivares. Todas as análises foram conduzidas no software Rbio (v. 2.2.4) (Bhering, 2017).

RESULTADOS

A análise de variância (Tabela 1), revelou ausência de interação significativa entre cultivares e tratamentos para as variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas, com exceção da eficiência instantânea de carboxilação (EICI). Para o fator tratamentos, não foram observados efeitos significativos sobre Ci, E, gs, W e MFPA, demonstrando que a aplicação isolada ou combinada de nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense* não alterou o desempenho fisiológico da cultura nas condições experimentais. Em relação ao fator cultivar, não foram detectadas diferenças significativas nas variáveis E e gs. Isso sugere que ambas as cultivares apresentam respostas fisiológicas semelhantes em termos de transpiração e condutância estomática.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) das variáveis fisiológicas e produtivas de alface das cultivares ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’ submetidas a tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*.

FV*	Gl	P-value						
		Ci (μmol)	E (mmol)	gs (mol)	A (μmol)	W (mmol)	EICI ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	MFPA (g)
Tratamentos (T)	5	0.144ns	0.246ns	0.353ns	0.000**	0.601ns	0.000**	0.636ns
Cultivar (C)	1	0.011*	0.608ns	0.327ns	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
T x C	5	0.072ns	0.446ns	0.081ns	0.275ns	0.904ns	0.029*	0.149ns
CV (%)		11.34	21.55	22.07	13.04	26.07	22.34	14.42

*FV: fonte de variação, Gl: graus de liberdade, CV: coeficiente de variação, Ci: concentração interna de CO_2 , E: taxa de transpiração, gs: condutância estomática, A: taxa de fotossíntese líquida, W: eficiência instantânea no uso da água, MFPA: massa fresca da parte aérea. ** significativo a 1%, * significativo a 5%, ns = não significativo.

A análise das variáveis fisiológicas e produtivas (Tabela 2) mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos para Ci, E, gs, W e MFPA. A taxa fotossintética líquida apresentou diferenças entre os tratamentos, os maiores valores foram obtidos nos tratamentos T2 (*A. brasilense*), T3 (Nicotinamida) e T5 (Piridoxina), embora sem diferença estatística entre si.

Tabela 2. Comparação das médias das variáveis fisiológicas e produtivas de alface cv. Pira Roxa e Stella submetidas aos tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*.

Tratamento	*Ci (μmol)	E (mmol)	gs (mol)	A (μmol)	W (mmol)	MFPA (g)
T1	375.33 ns	2.24 ns	0.188 ns	5.48 b	2.65 ns	74.98 ns
T2	361.33 ns	2.51 ns	0.191 ns	6.97 a	2.92 ns	73.48 ns
T3	388.33 ns	2.45 ns	0.165 ns	6.49 a	2.65 ns	72.48 ns
T4	362.83 ns	2.51 ns	0.158 ns	5.78 b	2.30 ns	75.45 ns
T5	260.17 ns	2.93 ns	0.197 ns	7.35 a	2.65 ns	77.76 ns
T6	411.00 ns	2.65 ns	0.175 ns	6.21 b	2.48 ns	68.61 ns
Cultivares						
Stella	360.00 b	2,59 ns	0.183 ns	8.06 a	3.26 a	82.32 a
Pira Roxa	393.00 a	2.51 ns	0.172 ns	4.70 b	1.96 b	65.27 b

*ci: concentração interna de CO_2 , E: taxa de transpiração, gs: condutância estomática, A: taxa de fotossíntese líquida, W: eficiência instantânea no uso da água, MFPA: massa fresca da parte aérea. T1: controle, T2: Azospirillum, T3: nicotinamida, T4: nicotinamida + Azospirillum, T5: piridoxina, T6: Azospirillum + piridoxina. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ns = não significativo.

Em relação ao fator cultivares, houve diferenças significativas para Ci, A, W e MFPA, evidenciando diferenças fisiológicas entre ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’. A cultivar ‘Stella’ apresentou desempenho superior, com A (71,5%), W (66,3%) e MFPA (26,1%) em relação a ‘Pira Roxa’, indicando maior eficiência na assimilação de carbono e maior potencial produtivo. Em contrapartida, ‘Pira Roxa’ apresentou concentração intercelular de CO_2 (Ci) 9,2% superior à de ‘Stella’, o que sugere maior acúmulo de CO_2 e menor eficiência carboxilativa, coerente com sua menor taxa fotossintética. Esses resultados

destacam que as diferenças genótípicas exerceram maior influência sobre o desempenho fisiológico do que os tratamentos bioestimulantes aplicados (Tabela 2).

A eficiência instantânea de carboxilação (EICI) apresentou interação significativa entre cultivares e tratamentos (Figura 1), evidenciando que a resposta fisiológica depende simultaneamente do genótipo e do bioestimulante aplicado. A cultivar ‘Stella’ apresentou valores superiores de EICI em todos os tratamentos, indicando maior capacidade carboxilativa geral em relação à ‘Pira Roxa’. Os tratamentos T2 e T5 promoveram os maiores incrementos de EICI em ‘Stella’, configurando-se como os tratamentos de melhor desempenho para essa cultivar. Os tratamentos T3, T4 e T6 apresentaram valores intermediários, mas ainda superiores ao controle T1, que exibiu o menor índice carboxilativo para ‘Stella’ (Figura 1).

Para a cultivar ‘Pira Roxa’, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, revelando estabilidade da EICI independentemente da aplicação dos bioestimulantes. Assim, enquanto ‘Stella’ demonstrou elevada responsividade às vitaminas e ao *A. brasilense*, ‘Pira Roxa’ apresentou baixa sensibilidade fisiológica aos bioinsumos avaliados.

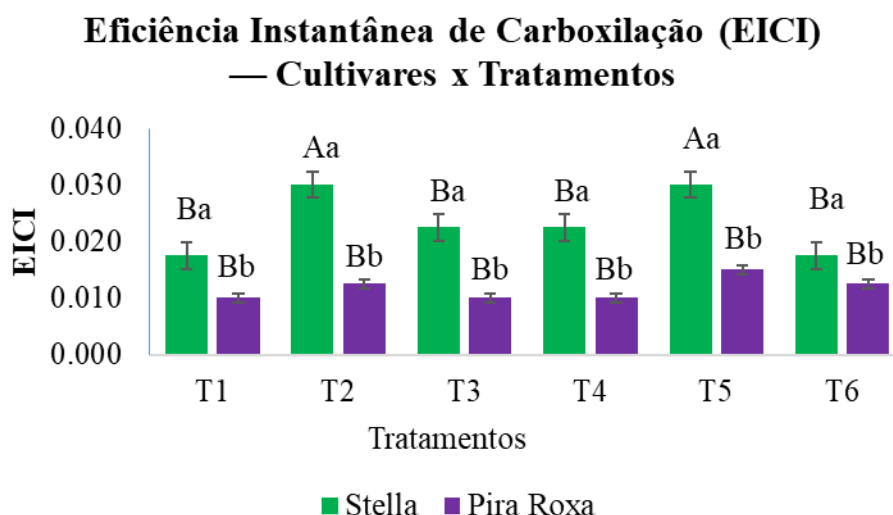


Figura1. Eficiência instantânea de carboxilação (EICI) em plantas de alface das cultivares ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’ submetidas a diferentes tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*. Barras representam a média $\pm$ erro-padrão. Letras maiúsculas distintas indicam diferenças significativas entre tratamentos, enquanto letras minúsculas distintas indicam diferenças entre cultivares, pelo teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$). T1: controle; T2: *A. brasilense*; T3: nicotinamida; T4: nicotinamida + *A. brasilense*; T5: piridoxina; T6: *A. brasilense* + piridoxina.

A análise de componentes principais (PCA) (Figura 2) evidenciou distinção clara entre as cultivares quanto ao conjunto das variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas. Os dois primeiros componentes principais explicaram 60,2% (Dim1) e 21% (Dim2) da variância total dos dados, totalizando 81,2% da variabilidade.

Observou-se nitidamente a formação de dois agrupamentos separados, representados pelas elipses: a cultivar ‘Stella’ agrupou-se na direção das variáveis A, W e MFPA, indicando maior eficiência

fotoassintética e maior produtividade. Por outro lado, ‘Pira Roxa’ posicionou-se próxima ao vetor C_i , demonstrando maior concentração interna de CO_2 e menor eficiência carboxilativa. Assim, a PCA confirma diferenças genotípicas marcantes, com ‘Stella’ apresentando desempenho fisiológico superior a ‘Pira Roxa’.

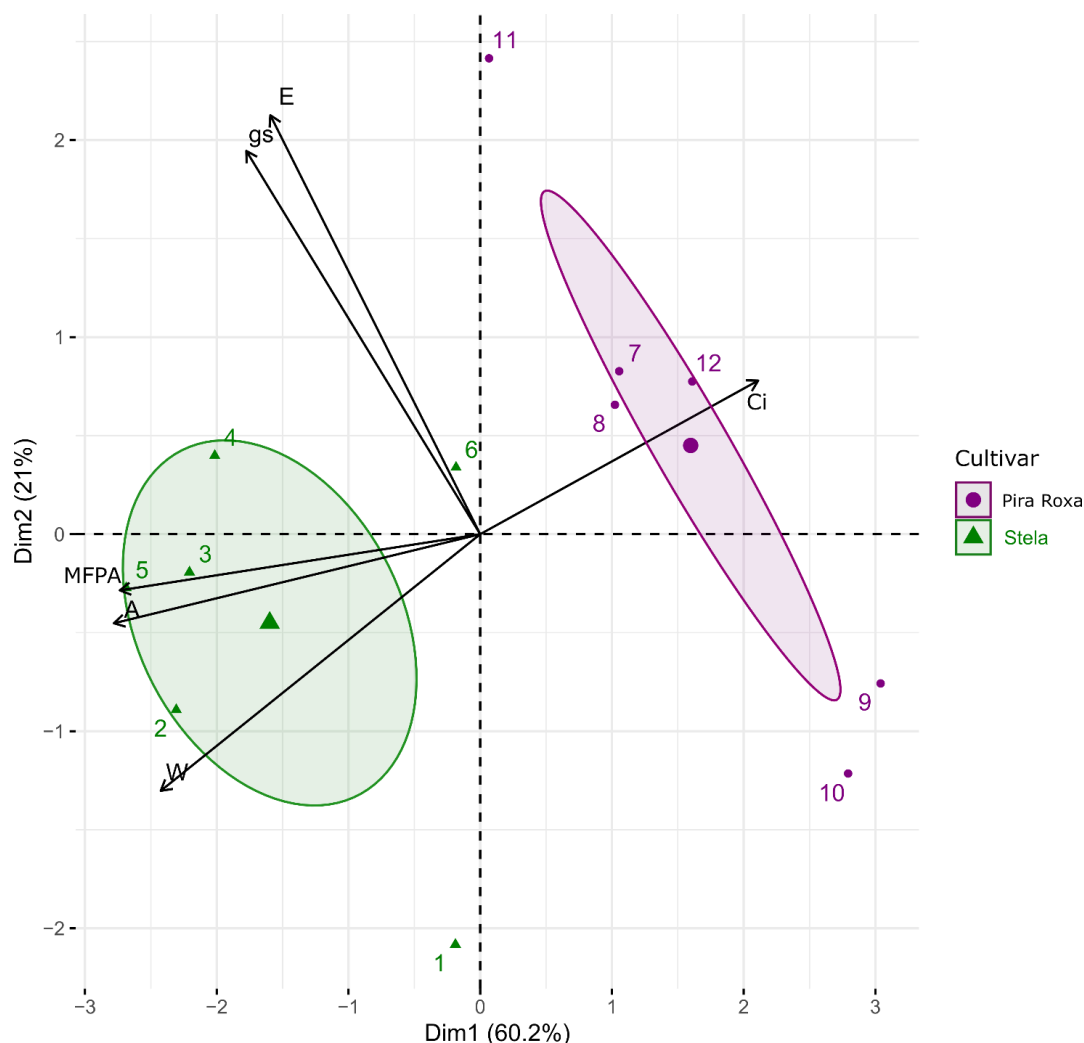


Figura 2. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis fisiológicas (C_i , g_s , A , E , W) e produtiva (massa fresca) das cultivares de alface ‘Stella’ (triângulos verdes) e ‘Pira Roxa’ (círculos roxos) submetidas a tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*. Números representam os tratamentos: 1–6 para Pira Roxa e 7–12 para Stella (1/7=T1 Controle; 2/8=T2 Azos; 3/9=T3 Nico; 4/10=T4 Azos+Nico; 5/11=T5 Piri; 6/12=T6 Azos+Piri). As elipses representam o agrupamento das observações por cultivar, e os vetores indicam a contribuição e direção das variáveis para a formação dos componentes principais. O PC1 e PC2 explicaram 60,2% e 21% da variância total dos dados, respectivamente.

DISCUSSÃO

A aplicação de nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense* não resultou em alterações significativas nas variáveis fisiológicas C_i , E , g_s e W , nem na variável de produtividade (MFPA) (Tabela 2). Essa ausência de resposta indica que sob as condições do experimento, os bioestimulantes aplicados isoladamente ou em combinação não foram suficientes para promover alterações expressivas no

metabolismo gasoso ou na produção das plantas. Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos com alface e outras hortaliças quando o ambiente de cultivo apresenta baixa condição de estresse ou elevado suprimento nutricional, reduzindo a responsividade aos bioestimulantes (Garcia et al., 2023; Salazar-Garcia et al., 2022).

Apesar disso, observou-se resposta significativa da taxa fotossintética aos tratamentos, com maior desempenho numérico nos tratamentos com *A. brasilense* (T2), nicotinamida (T3) e piridoxina (T5) aplicados de forma isolada (Tabela 2). Esses compostos possuem mecanismos fisiológicos reconhecidos na literatura, que incluem modulação da síntese de fitormônios, melhoria da integridade dos sistemas fotossintéticos e estimulação do metabolismo antioxidante (Araújo et al., 2024; Garcia et al., 2024; Zaheer et al., 2022). A nicotinamida atua diretamente em vias redox e na produção de NAD/NADP, fundamentais para o transporte de elétrons e reações bioquímicas da fotossíntese (Ding et al., 2024). A piridoxina está envolvida na mitigação de estresses oxidativos e na síntese de aminoácidos (Balakina et al., 2021), enquanto *A. brasilense* é conhecido pela produção de auxinas e promoção do crescimento radicular (Giri et al., 2025).

As diferenças entre cultivares observadas para Ci, A, W e MFPA destacam a influência do componente genético sobre a eficiência fisiológica (Tabela 2). A cultivar ‘Stella’ apresentou maior desempenho fotossintético, maior eficiência no uso da água e maior acúmulo de biomassa, caracterizando um metabolismo mais eficiente na assimilação de carbono (Pereira et al., 2023). Esses achados estão em consonância com pesquisas recentes que evidenciam o melhor desempenho fisiológico e agrônômico de cultivares tropicalizadas de alface, que apresentam maior tolerância ao calor e maior capacidade de manutenção da fotossíntese sob alta radiação (Siquieroli et al., 2025). Por outro lado, a maior concentração intercelular de CO₂ (Ci) em ‘Pira Roxa’ (Tabela 2) indica menor eficiência de carboxilação, sugerindo limitação bioquímica ou estomática no processo fotossintético (Deans et al., 2019; Taylor et al., 2020).

A interação significativa observada para a eficiência instantânea de carboxilação (EICI) (Figura 1) reforça que a resposta aos bioestimulantes depende da combinação entre genótipo e insumo aplicado. A cultivar ‘Stella’ mostrou-se altamente responsiva, com incrementos de EICI especialmente nos tratamentos T2 (*A. brasilense*) e T5 (Piridoxina), enquanto ‘Pira Roxa’ apresentou estabilidade fisiológica e baixa sensibilidade às mesmas intervenções. Este comportamento diferencial é consistente com estudos que relatam que a eficiência de bioestimulantes depende da sensibilidade metabólica e das características intrínsecas de cada cultivar (Shahrajabian et al., 2021; Meena et al., 2025). Trabalhos recentes confirmam que a interação planta–vitamina–microrganismo pode ser extremamente eficiente, mas seus efeitos variam amplamente entre espécies e genótipos como mostrado no milho (Melo et al., 2025), na soja (Vendruscolo et al., 2025), e no melão (Ribeiro et al., 2024).

A análise de componentes principais (Figura 2) confirma que as diferenças fisiológicas observadas entre as cultivares têm forte determinante genético, resultando em padrões funcionalmente distintos de

uso de recursos e eficiência metabólica. O posicionamento de ‘Stella’ próximo às variáveis A, W e MFPA indica uma combinação favorável de maior capacidade fotossintética, melhor eficiência no uso da água e maior conversão de assimilados em biomassa, características típicas de genótipos mais eficientes e responsivos às condições de cultivo protegido. A diferenciação das cores nas alfaces verde na ‘Stella’ e roxa na ‘Pira Roxa’ evidencia mudanças na resposta fisiológicas de ambas as cultivares de alface o que determina a resposta obtida. Estudos recentes relatam comportamentos semelhantes em cultivares de alface com maior plasticidade fisiológica e maior habilidade de manter a fotossíntese sob ambientes quentes e luminosos (Siquieroli et al., 2025; Santander et al., 2024). Em contraste, o posicionamento de ‘Pira Roxa’ associado ao vetor Ci sugere limitação na etapa de carboxilação, com acúmulo de CO₂ no mesófilo sem incremento proporcional na fotossíntese — um padrão associado à menor eficiência da Rubisco ou a limitações no transporte de elétrons, conforme relatado também em outras cultivares menos eficientes (Ribeiro et al., 2024). Dessa forma, a PCA evidencia que as respostas fisiológicas não dependem apenas da aplicação de bioestimulantes, mas são fortemente moduladas pelas características intrínsecas de cada genótipo associadas a cor das cultivares, reforçando o papel central do material genético na determinação do desempenho fisiológico e produtivo da cultura.

De forma geral, os resultados demonstram que, nas condições deste estudo, os efeitos dos bioestimulantes foram limitados pelo ambiente favorável para o desenvolvimento da cultura, e que as diferenças intrínsecas entre as cultivares exerceram influência mais pronunciada sobre o desempenho fisiológico e produtivo. Além disso, a responsividade da ‘Stella’ sugere potencial para estudos posteriores em cenários de maior estresse ou com ajustes nas doses e frequências de aplicação, sobretudo considerando a crescente evidência de que interações entre vitaminas do complexo B e microrganismos promotores de crescimento podem melhorar significativamente a eficiência metabólica das plantas (Melo et al., 2025; Ribeiro et al., 2024).

CONCLUSÃO

A aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense* não resultou em efeitos significativos sobre as variáveis fisiológicas e produtivas da alface, indicando baixa responsividade dos genótipos sob condições de cultivo favoráveis. As diferenças entre cultivares foram mais pronunciadas que os efeitos dos bioestimulantes, com ‘Stella’ apresentando maior eficiência fotossintética e produtiva, enquanto ‘Pira Roxa’ mostrou menor eficiência carboxilativa. O uso da análise multivariada confirmou essa distinção genotípica entre as cultivares. Assim, o desempenho fisiológico foi determinado principalmente pelo material genético, e não pelos bioinsumos aplicados. Estudos futuros devem considerar diferentes doses, frequências de aplicação e condições de estresse para melhor explorar o potencial desses bioestimulantes.

REFERÊNCIAS

- Araújo, T. A. do N. de, Vendruscolo, E. P., Binotti, F. F. da S., Costa, E., Lima, S. F. de, Sant'Ana, G. R., & Bortolheiro, F. P. de A. P. (2024). Nicotinamide Increases the Physiological Performance and Initial Growth of Maize Plant. *International Journal of Agronomy*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/5567314>
- Balakina, A., Prikhodchenko, T., Amozova, V., Stupina, T., Mumyatova, V., Neganova, M., Yakushev, I., Kornev, A., Gadomsky, S., Fedorov, B., & Mishchenko, D. (2021). Preparation, Antioxidant Properties and Ability to Increase Intracellular NO of a New Pyridoxine Derivative B6NO. *Antioxidants*, 10(9), 1451. <https://doi.org/10.3390/antiox10091451>
- Bhering, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.17: 187-190p, 2017.
- Carolina Soil - Substratos de Alta Qualidade. Disponível em: <<https://carolinasoil.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. Boletim Hortigranjeiro, Brasília, DF, v. 11, n. 02, Fevereiro, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletins-hortigranjeiros-2025/boletim-hortigranjeiro-fevereiro-2025.pdf> (Acessado em 11 de novembro 2025).
- Deans, R. M., Farquhar, G. D., & Busch, F. A. (2019). Estimating stomatal and biochemical limitations during photosynthetic induction. *Plant, Cell & Environment*, 42(12), 3227–3240. <https://doi.org/10.1111/pce.13622>
- Ding, N., Yuan, Z., Sun, L., & Yin, L. (2024). Dynamic and Static Regulation of Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate: Strategies, Challenges, and Future Directions in Metabolic Engineering. *Molecules*, 29(15), 3687. <https://doi.org/10.3390/molecules29153687>
- Embrapa (2023). Brasil em 50 alimentos (1st ed.). Embrapa. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153294>
- Fitzpatrick, T. B. (2024). B Vitamins: An Update on Their Importance for Plant Homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*, 75(1), 67–93. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-060223-025336>
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. In *Horticulturae* (Vol. 8, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Garcia, A. A., Pradi Vendruscolo, E., Ferreira de Lima, S., De Castro Seron, C., Battistuzzi Martins, M., & Rodrigues Sant' Ana, G. (2023). Effect of B vitamins on lettuce plants subjected to saline stress. *Agronomía Colombiana*, 41(1), e104214. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.104214>
- Garcia, A. A., Vendruscolo, E. P., Lima, S. F. de, Costa, E., Martins, M. B., Seron, C. de C., Bastos, F. E. A., Lafleur, L., & Araújo, T. A. do N. de. (2024). Do vitamins change the morphophysiological

- characteristics of sweet pepper grown under irrigation with saline water? *Observatório de La Economía Latinoamericana*, 22(8), e6206. <https://doi.org/10.55905/oelv22n8-067>
- Giri, B. R., Chattaraj, S., Rath, S., Pattnaik, M. M., Mitra, D., & Thatoi, H. (2025). Unveiling the Molecular Mechanism of *Azospirillum* in Plant Growth Promotion. *Bacteria*, 4(3), 36. <https://doi.org/10.3390/bacteria4030036>
- Hong, J., Xu, F., Chen, G., Huang, X., Wang, S., Du, L., & Ding, G. (2022). Evaluation of the Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Applications on the Growth, Yield, and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*, 12(10), 2477. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102477>
- Instituto Nacional de Meteorologia (2020). Normais climatológicas do Brasil: 1991–2020. INMET. <https://www.gov.br/inmet/pt-br>
- Meena, D. C., BIRTHAL, P. S., & KUMARA, T. M. K. (2025). Biostimulants for sustainable development of agriculture: a bibliometric content analysis. *Discover Agriculture*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00149-5>
- Melo, S. S., Santos, M. A. dos, Bronstrup, L. G. S., Arend, L. C., Vendruscolo, E. P., Silva, G. P. V. da, Binotti, F. F. da S., Lima, S. F. de, & Bortolheiro, F. P. de A. P. (2025). Plant-Vitamin-Bacteria Interaction Improves Gas Exchange and Initial Growth of Corn Plants. *ACS Agricultural Science & Technology*, 5(8), 1572–1579. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.4c00718>
- Pereira, D. de F., Silva, T. P. da, Freire, Winandy. A., Souza, Ê. G. F., Cruz, E. A. da, & Feitosa, R. M. (2023). Agronomic characteristics and quality of lettuce cultivars in different crop seasons in western Alagoas, Brazil. *Revista Caatinga*, 36(1), 106–114. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n112rc>
- Ribeiro, V., Vendruscolo, E. P., Conceição, J. S., Lima, S. F. de, Binotti, F. F. da S., Bortolheiro, F. P. de A. P., Oliveira, C. E. da S., Costa, E., & Lafleur, L. (2024). Plant–Vitamin–Microorganism Interaction in Hydroponic Melon Cultivation. *Horticulturae*, 10(12), 1329. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121329>
- Salazar-García, G., Balaguera-Lopez, H. E., & Hernandez, J. P. (2022). Effect of Plant Growth-Promoting Bacteria *Azospirillum brasilense* on the Physiology of Radish (*Raphanus sativus* L.) under Waterlogging Stress. *Agronomy*, 12(3), 726. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030726>
- Santander, C., González, F., Pérez, U., Ruiz, A., Aroca, R., Santos, C., Cornejo, P., & Vidal, G. (2024). Enhancing Water Status and Nutrient Uptake in Drought-Stressed Lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.) via Inoculation with Different *Bacillus* spp. Isolated from the Atacama Desert. *Plants*, 13(2), 158. <https://doi.org/10.3390/plants13020158>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. In *Biomolecules* (Vol. 11, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>

- Siquieroli, A. C. S., Maciel, G. M., Durães, T. M., da Silva, F. B., Silva, F. G., Bento, C. H. P., Luz, J. M. Q., Peres, H. G., Rocha, I. P. S., & Morotti, C. F. (2025). Tropicalized lettuce: photosynthetic efficiency, water use, and agronomic–nutritional potential. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1380. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07397-7>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Wang, N. (2025). A Study of the Different Strains of the Genus *Azospirillum* spp. on Increasing Productivity and Stress Resilience in Plants. *Plants*, 14(2), 267. <https://doi.org/10.3390/plants14020267>
- Taylor, S. H., Orr, D. J., Carmo-Silva, E., & Long, S. P. (2020). During photosynthetic induction, biochemical and stomatal limitations differ between Brassica crops. *Plant, Cell & Environment*, 43(11), 2623–2636. <https://doi.org/10.1111/pce.13862>
- Vendruscolo, E. P., Ribeiro, B. L. Q., Bortolheiro, F. P. de A. P., Meira, L. B. V., Martins, M. B., da Silva Binotti, F. F., Seron, C. de C., de Araújo, T. A. do N., & de Lima, S. F. (2025). Pyridoxine acts as a booster of gas exchange and soybean production components. *Crop Science*, 65(4). <https://doi.org/10.1002/csc2.70122>
- Vendruscolo, E. P., Seron, C. de C., Leonel, E. A. S., Lima, S. F. de, Araujo, S. L., Martins, M. B., Sant'Ana, G. R., & Oliveira, J. J. de. (2023). Do vitamins affect the morphophysiology of lettuce in a hydroponic system? *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(9), 698–703. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p698-703>
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., Hashmi, M. I. U., Mumtaz, M. Z., Salama, E. A. A., Kalaji, H. M., Wróbel, J., & Dessoky, E. S. (2022). Cytokinin Production by *Azospirillum brasilense* Contributes to Increase in Growth, Yield, Antioxidant, and Physiological Systems of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.886041>

Índice Remissivo

A

agrupamento, 61, 65
análise multivariada, 8, 10, 11, 12
Arachis hypogaea L., 6
Azospirillum brasilense, 26, 27, 28, 33, 47, 48, 51, 55

E

Enneothrips enigmaticus, 6, 9

G

gergelim, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

H

Heatmap, 11

L

Lactuca sativa, 26

N

Nicotinamida, 27, 29
níquel, 59, 60, 63, 64, 65, 66
nitrogênio, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66

P

Piridoxina, 27, 29, 32

S

Sesamum indicum, 59

U

UPGMA, 8, 11

Sobre os organizadores



  **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 184 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 69 organizações de e-books, 53 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



 **Leandris Argente-Martínez**

Professor Titular e Professor Catedrático "C" no Instituto Tecnológico Nacional do México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). É membro do Sistema Nacional de Pesquisadores (SNI) da SECIHTI, Nível 1. É Professor PRODEP do Ministério da Educação Pública do México e lidera o Grupo Acadêmico Consolidado ITVAYA-CA3. Suas áreas de pesquisa incluem Fisiologia Vegetal, Bioquímica e Biologia Celular e Molecular em plantas e microrganismos. Possui doutorado em Biotecnologia. Sua pesquisa concentra-se em mecanismos fisiológicos, vias anapleróticas e mecanismos moleculares ativados por organismos durante sua adaptação a estresses abióticos. Ele utiliza marcadores moleculares de tolerância de organismos ao estresse abiótico (salinidade, seca e calor). Emprega técnicas de isótopos estáveis para monitorar reações bioquímicas em células e tecidos. Também aplica técnicas experimentais univariadas e multivariadas para processamento de dados. E-mail para contato: oleinismora@gmail.com



  **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.



  **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/Agrônoma. 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



  **Fabio Steiner**

Graduação em Engenharia Agrônoma (2007), Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon (2010), e Doutorado em Agronomia – Agricultura pela Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' – UNESP/Botucatu (2014). Atualmente, é professor titular da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, atuando no Curso de Graduação em Agronomia da Unidade Universitária de Cassilândia (MS) e no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal (PGAGRO), nível de Mestrado e Doutorado, da Unidade Universitária de

Aquidauana. Tem experiência na área de Agronomia - Agricultura, com ênfase em fisiologia de plantas cultivadas, estresses abióticos, nutrição mineral de plantas, fertilidade do solo, sistemas agrícolas de produção agrícola e ciclagem de nutrientes, atuando principalmente com as culturas de soja, cana-de-açúcar, milho, amendoim, algodão, trigo, feijão e plantas de cobertura.

Em um cenário científico cada vez mais dependente da interpretação de grandes volumes de dados, a **Análise Multivariada** se estabelece como uma ferramenta estatística indispensável para extrair informações complexas e tomar decisões precisas.

Este volume é uma obra essencial que preenche a lacuna entre a teoria estatística e a prática de pesquisa nas Ciências Biológicas e Agrárias.



9786585756709



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