

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA –
UNESP CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EXTRATO FOLIAR DE *MORINGA OLEÍFERA* L. MODULA
RESPOSTAS DE DEFESA AOS ESTRESSES BIÓTICO E
ABIÓTICO EM PLANTAS DE MILHO**

Lara Yassuko Nakamura

Bióloga pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS)

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA –
UNESP CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EXTRATO FOLIAR DE *MORINGA OLEÍFERA* L. MODULA
RESPOSTAS DE DEFESA AOS ESTRESSES BIÓTICO E
ABIÓTICO EM PLANTAS DE MILHO**

Lara Yassuko Nakamura

Orientadora: Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão

Coorientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

**Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).**

N163e

Nakamura, Lara Yassuko

Extrato foliar de moringa oleífera L. Modula respostas de defesa aos estresses biótico e abiótico em plantas de milho / Lara Yassuko Nakamura. -- Jaboticabal, 2026

104 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Priscila Lupino Gratão

Coorientador: Odair Aparecido Fernandes

1. Estresse oxidativo. 2. Fisiologia vegetal. 3. Moringa oleifera. 4. Estresse hídrico. 5. Estresse vegetal. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa pode contribuir para o manejo sustentável do milho ao indicar o extrato foliar de *Moringa oleífera* como bioinputo com potencial para atenuar danos causados por déficit hídrico e ataque de insetos, favorecendo sistemas agrícolas mais resilientes e alinhados aos ODS 2, 12, 13 e 15.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research may contribute to sustainable maize management by indicating *Moringa oleífera* leaf extract as a bioinput with potential to reduce damage caused by drought and insect attack, supporting more resilient agricultural systems aligned with SDGs 2, 12, 13, and 15.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EXTRATO FOLIAR DE *MORINGA OLEÍFERA* L. MODULA RESPOSTAS DE DEFESA AOS ESTRESSES BIÓTICO E ABIÓTICO EM PLANTAS DE MILHO

AUTORA: LARA YASSUKO NAKAMURA

ORIENTADORA: PRISCILA LUPINO GRATÃO COORIENTADOR: ODAIR APARECIDO FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 PRISCILA LUPINO GRATÃO
Data: 25/02/2026 16:02:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. PRISCILA LUPINO GRATÃO (Participação Presencial)
Departamento de Biologia / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 MIRELA VANTINI CHECCHIO
Data: 25/02/2026 10:28:25-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Pós-Doutoranda MIRELA VANTINI CHECCHIO (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
 JOÃO RAFAEL SILVA SOARES
Data: 24/02/2026 19:10:38-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Pós-doutorando JOÃO RAFAEL SILVA SOARES (Participação Presencial)
ESALQ USP / São Paulo/SP

Jaboticabal, 20 de fevereiro de 2026.

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
dissertação será disponibilizado
somente a partir de 20/02/2027

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Lara Yassuko Nakamura, nascida em 16 de novembro de 2002, na cidade de Dracena, estado de São Paulo, é filha de Renato Nakamura e Larissa Telma de Bernardi. Graduiu-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Câmpus de Três Lagoas, no ano de 2020. Ingressou no curso de Mestrado em Produção Vegetal na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal (UNESP/FCAV). Em 2025, realizou intercâmbio na Universidade de Hubei, na China, onde trabalhou junto ao grupo de estudos dos professores Lü Shiyu e Zhao Huayan. Desde a graduação atua na área de fisiologia vegetal e, no mestrado, aprofundou sua formação na subárea de metabolismo antioxidante em plantas, sob a orientação da Profa. Priscila.

“A força não vem da capacidade física, mas de uma vontade indomável.”

— *Mahatma Gandhi*

DEDICATÓRIA

A Deus, por todo o discernimento. À minha mãe e ao meu padrasto, Larissa e Itushi, por todo o amor, carinho e dedicação. À família Capalbo Batista, por todo o suporte e acolhimento. Aos meus amigos Carlos e Eduarda, pelos ensinamentos e pelo companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus. Agradeço por estar sempre comigo, por nunca me abandonar, mesmo nos momentos mais difíceis, quando tudo parecia dar errado. Entre noites em claro, o Senhor esteve comigo; por isso, sou grata.

À minha mãe, meu alicerce e meu refúgio. Obrigada por nunca soltar a minha mão, mesmo quando eu mesma pensei em desistir; por acreditar em mim em todos os momentos e por transformar amor em cuidado diário. Seu apoio incondicional, sua força silenciosa e seus gestos simples — como os bolinhos de chuva que aqueciam meus dias — foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Tudo o que sou e tudo o que conquistei carrega um pouco de você. Obrigada, mamãe. Te amo infinitamente.

À minha família — Marco Antônio (Itushi), Renato, Letícia, Juliana e Renato H. — por sempre me apoiarem nos estudos, nunca soltarem minha mão e me incentivarem diariamente a estudar e vencer os desafios.

Ao meu namorado, Matheus Capalbo Batista, que acreditou em mim desde o início e me incentivou a vir para Jaboticabal, mesmo quando tudo parecia incerto. Obrigada por tornar meus dias mais leves, por me acolher nos momentos de cansaço e por me ouvir, ao final de cada dia, falar sobre experimentos, análises e desafios — ainda que nem sempre compreendesse todos os detalhes, mas sempre com paciência, carinho e disposição para ajudar. Seu apoio, presença e amor foram fundamentais ao longo de toda essa caminhada. Te amo.

À Roberta Capalbo e ao Paulo Batista, por serem minha família em Jaboticabal. Vocês são as pessoas para quem ligo para contar minhas conquistas e meus dias difíceis. Sempre me receberam com tanto carinho; sinto-me amada e filha de vocês. Fizeram de Jaboticabal a minha casa. Obrigada, amo vocês.

À Claudia e ao Tio Dinho, meu sincero agradecimento por estarem sempre comigo, pela ajuda constante e pela solicitude em todos os momentos.

Às minhas tias Márcia e Yassuko, por todo colo, ombro, “missôs” e puxões de orelha, que me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor a cada dia.

À minha orientadora querida, Prof^a Priscila Lupino Gratão, por todos os conselhos, pela paciência, pelas risadas e por todos os ensinamentos. Você é

admirável como professora e como ser humano. Todos os dias agradeço por ter entrado na minha vida.

Ao meu coorientador, Prof. Odair Aparecido Fernandes, que, com toda delicadeza, me ensinou com paciência e cuidado.

Às minhas meninas — Camila, pelas risadas que sempre trouxeram leveza aos meus dias; Débora, por encher nossa convivência de alegria com suas histórias e ser a melhor cozinheira do mundo!; Isabella Reis, irmã que a vida me deu desde 2008 e que permanece comigo até hoje e para sempre, cujo jeito é sinônimo de lar; Duda, pela verdade que acolhe e seus conselhos que sustentam todas nós; Vanessa, de poucas palavras, mas com quem um simples olhar é suficiente para o entendimento; e Vitória, presente desde sempre, meu colo e ombro amigo de confiança.

À Cristina Saleh e Felipe Pitta, lar onde encontro abrigo e companhias escolhidas para a vida. Obrigada pelas risadas que suavizam os dias, pela presença que acolhe e pelas memórias que permanecem. Vocês são casa em qualquer lugar. Amo vocês imensamente, Crys e Pittico.

Aos meus amigos Isadora Belentani e Felipe Ando, presenças que transformam tanto os dias difíceis quanto os felizes em risadas e leveza. Obrigada por estarem em minha vida.

Ao Fernando, que, independentemente da distância, celebra comigo cada vitória, assim como eu celebro as suas. Te amo.

A Eduardo Barbosa, Vinicius França e Igor Fernando, por serem tão especiais para mim. Que a vida permita que nossos caminhos sigam sempre próximos.

À minha amiga-irmã Nayla, por todo o apoio ao longo da minha jornada acadêmica e pessoal, pelos conselhos e pela inspiração constante. Te amo.

À Gabrielli e à sua família, por me aproximarem de Deus, pelo acolhimento e por toda a ajuda ao longo da minha trajetória acadêmica, desde a inscrição no mestrado até este momento. Amo vocês.

Ao laboratório dos professores Lü Shiyu e Zhao Huayan, na universidade que chamei de lar durante alguns dos meses mais intensos da minha vida, a Hubei University, obrigada por me receberem com tanto carinho.

Aos meus colegas chineses Xue Yan, Ye, Yang, Lao Shi, Pu e sua namorada, minha eterna gratidão pela paciência, pelo carinho e por cada *delivery* de comida não apimentada que pediam para mim. Sinto saudades sempre.

Aos meus amigos Maria Eduarda Costa, Vitor Sampaio, Eduardo, Laerte, Davy e Julia, obrigada por terem sido as melhores companhias possíveis na China. Se eu pudesse viver tudo novamente, escolheria vocês outra vez.

Aos colegas do departamento e do laboratório vizinho — Márcia, Aldo, Gustavo, Martins, Ailton e Gabi— gratidão é pouco por tudo o que fizeram e ainda farão por mim, sempre dispostos a ajudar e a compartilhar muitas risadas.

A Soninha, ou Little, obrigada por cuidar tão bem de mim e do nosso laboratório, sempre disposta a ajudar eu e meus colegas. Te amo Soninha.

Aos meus colegas da pós-graduação Laura, Mariana, João, Bruna, Julia, Carolzinha, Guilherme, Kauane e Denikeli, que sempre me ajudaram e estiveram comigo em todas as fases. Meu eterno obrigada por cada riso e cada choro. Estou com vocês sempre. Amo vocês.

À Letícia Leite, presença constante que caminha comigo, companheira de academia e de vida, fortalecendo meus dias com apoio e leveza. Obrigada por tudo, Lele. Te amo.

Aos meus grandes amigos Carlos (Carluxo) e Eduarda (Darda), palavras não são suficientes para expressar o quanto sou grata por ter vocês na minha vida. Vocês me salvaram sem nem perceber. Obrigada por todos os puxões de orelha, pelos ensinamentos e pela leveza de tudo ao lado de vocês. Amo vocês.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus Jaboticabal – e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de cumprir mais essa etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos aqueles aqui não nomeados, que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho. Esta dissertação não foi feita sozinha, mas construída pelas mãos de todos que encontrei ao longo do caminho. **Meu muito obrigada!**

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM MILHO E ESTRESSE OXIDATIVO	4
BROCA-DO-COLMO (<i>DIATRAEA SACCHARALIS</i>) EM MILHO: IMPORTÂNCIA, DANOS E MANEJO.....	5
INTERAÇÃO SECA × HERBÍVORA: IMPACTOS SOBRE A RELAÇÃO PLANTA– INSETO	6
EXTRATO FOLIAR DE <i>MORINGA OLEÍFERA</i> (EFM): CONCEITO, COMPOSIÇÃO E USO AGRONÔMICO	6
EFEITO INDIRETO VIA PLANTA: TOLERÂNCIA E REDUÇÃO DO DANO FISIOLÓGICO	7
MODULAÇÃO DO METABOLISMO E POSSÍVEIS DEFESAS INDUZIDAS.....	7
REFERÊNCIAS.....	8
CAPÍTULO 2- Uso de extrato foliar de <i>Moringa oleífera</i> L. intensifica respostas antioxidantes não enzimáticas e reduz danos oxidativos em milho submetido ao déficit hídrico.....	15
INTRODUÇÃO.....	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
Material vegetal e condições de crescimento.....	18

Tratamentos e delineamento experimental.....	19
Preparação do extrato foliar de <i>Moringa</i>	19
ANÁLISES BIOQUÍMICAS	21
Clorofila, carotenoides e feofitinas.....	21
Teor de Malonaldeído (MDA)	21
Peróxido de hidrogênio.....	21
Análise do teor de prolina	21
Análise de glicina-betaína	22
Compostos fenólicos.....	22
Teor de Ascorbato total e reduzido	23
ANÁLISES DE CRESCIMENTO	23
Comprimento da parte aérea.....	23
Massa Seca da parte aérea	23
Determinação da Área Foliar	24
ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	24
RESULTADOS.....	24
Clorofilas, carotenoides e feofitinas	24
Análise do teor de malonaldeído (MDA) e peroxido de hidrogênio.....	26
Análise do teor de prolina.....	28
Análise de glicina betaína	29
Ascorbato total, Ascorbato reduzido e fenóis.....	30
Análise de crescimento.....	32
DISCUSSÃO.....	33
CONCLUSÕES.....	38
REFERENCIAS.....	38

CAPÍTULO 3 - EXTRATO FOLIAR DE <i>MORINGA OLEÍFERA</i> L. MODULA RESPOSTAS DE DEFESA AOS ESTRESSES BIÓTICO E ABIÓTICO EM PLANTAS DE MILHO.....	44
INTRODUÇÃO.....	44
MATERIAL E MÉTODOS.....	47
Material vegetal e condições de crescimento.....	47
Tratamentos e delineamento experimental.....	48
Preparação do extrato foliar de <i>Moringa</i>	49
ANÁLISES BIOQUÍMICAS	49
Clorofila, carotenoides e feofitinas.....	49
Conteúdo relativo de água (CRA)	49
Análise da fluorescência da clorofila a	49
Teor de Malonaldeído (MDA)	50
Peróxido de hidrogênio.....	50
Extração de proteínas.....	50
Análise de enzimas antioxidantes	51
Superóxido dismutase	51
Guaiacol Peroxidase.....	51
Glutationa peroxidase.....	51
Análise do teor de prolina.....	52
Análise de glicina-betaína.....	52
Compostos fenólicos	52
Teor de Ascorbato total e reduzido	53
ANÁLISES DE CRESCIMENTO	53
Comprimento da parte aérea	53
Massa Seca da parte aérea	53
Determinação da Área Foliar	53

ANÁLISES ESTADÍSTICAS.....	54
RESULTADOS.....	54
Análise de pigmentos: Clorofilas e carotenoides	54
Conteúdo relativo de água (CRA)	55
Fluorescência da clorofila a.....	56
Análise do teor de MDA	58
Análise do teor de Peróxido de hidrogênio	58
Atividade da SOD, GPOX e GSH-PX	59
Prolina.....	61
Glicina-betaína.....	62
Teor de fenóis	63
Ascorbato total e Ascorbato reduzido	63
Análises de crescimento: altura, área foliar e massa seca	64
Análise de componentes parciais (PCA).....	66
Matriz de correlação de Pearson (heatmap).....	67
DISCUSSÃO.....	70
CONCLUSÕES.....	77
REFERENCIAS.....	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	85

Extrato foliar de *Moringa oleífera* L. modula respostas de defesa aos estresses biótico e abiótico em plantas de milho

RESUMO- O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais importantes em escala global; entretanto, sua produtividade tem sido progressivamente afetada pela intensificação de estresses abióticos e bióticos, em especial o déficit hídrico e a infestação por insetos-praga, como a broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*). A deficiência hídrica induz desequilíbrios metabólicos associados à superprodução de espécies reativas de oxigênio (ERO), enquanto o estresse biótico potencializa danos fisiológicos, comprometendo a integridade celular, o aparato fotossintético e a eficiência metabólica das plantas. Nesse contexto, o uso de bioinsumos de origem vegetal surge como alternativa sustentável, destacando-se o extrato foliar de *Moringa oleífera* L. (EFM), rico em compostos bioativos com potencial modulador do metabolismo redox. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do EFM na atenuação dos impactos do déficit hídrico isolado e combinado à infestação por *D. saccharalis* em plantas de milho, considerando respostas fisiológicas e bioquímicas. Dois experimentos independentes foram conduzidos em casa de vegetação. O primeiro foi realizado em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×3 , envolvendo aplicação ou ausência de EFM e três regimes hídricos (40%, 60% e 80% da capacidade de campo). O segundo experimento seguiu delineamento fatorial $2 \times 2 \times 2$, considerando EFM, dois níveis hídricos (50% e 80% da capacidade de campo) e presença ou ausência de infestação larval. De modo geral, a aplicação do EFM promoveu aumento nos teores de osmólitos compatíveis, como prolina e glicina-betaína, redução da peroxidação lipídica e dos teores de peróxido de hidrogênio, além da preservação de pigmentos fotossintéticos e parâmetros fotoquímicos, especialmente sob condições de estresse severo e combinado. Adicionalmente, o EFM modulou componentes antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, contribuindo para a manutenção do estado hídrico e da integridade celular. Embora não tenha revertido completamente as restrições ao crescimento, o EFM conferiu proteção fisiológica consistente, evidenciando seu potencial como bioinsumo sustentável no manejo de estresses abióticos e bióticos em milho.

Palavras-chave: Bioinsumos; estresse combinado; estresse oxidativo; fisiologia vegetal e *Moringa oleífera*.

Leaf extract of *Moringa oleifera* L. modulates defense responses to biotic and abiotic stresses in maize plants.

Abstract- Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important agricultural crops worldwide; however, its productivity has been increasingly constrained by the intensification of abiotic and biotic stresses, particularly water deficit and infestation by insect pests such as the sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*). Water deficit induces metabolic disturbances associated with the overproduction of reactive oxygen species (ROS), while biotic stress further exacerbates physiological damage, impairing cellular integrity, the photosynthetic apparatus, and overall metabolic efficiency. In this context, plant-based bioinputs emerge as sustainable alternatives, among which the foliar extract of *Moringa oleifera* L. (MLE) stands out due to its high diversity of bioactive compounds with the potential to modulate redox metabolism. This study aimed to evaluate the effects of MLE on attenuating the impacts of water deficit alone and in combination with *D. saccharalis* infestation in maize plants, with emphasis on physiological and biochemical processes of antioxidant metabolism. Two independent greenhouse experiments were conducted. The first experiment followed a randomized block design in a 2 × 3 factorial arrangement, including MLE application or not and three water regimes (40%, 60%, and 80% of field capacity). The second experiment was conducted in a 2 × 2 × 2 factorial design, considering MLE application, two water regimes (50% and 80% of field capacity), and the presence or absence of larval infestation. Overall, MLE application increased the accumulation of compatible osmolytes, such as proline and glycine betaine, reduced lipid peroxidation and hydrogen peroxide levels, and preserved photosynthetic pigments and photochemical parameters, particularly under severe and combined stress conditions. In addition, MLE modulated both enzymatic and non-enzymatic antioxidant components, contributing to the maintenance of plant water status and cellular integrity. Although MLE did not fully reverse growth limitations, it provided consistent physiological protection, highlighting its potential as a sustainable bioinput for attenuating abiotic and biotic stresses in maize production systems.

Keywords: Bioinputs; combined stress; maize physiology; *Moringa oleifera*; oxidative stress.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas de maior relevância mundial, desempenhando papel essencial na segurança alimentar, na produção de ração animal e em diversos segmentos industriais (FAOSTAT, 2023.) Entretanto, as crescentes instabilidades climáticas têm intensificado sua vulnerabilidade aos estresses abióticos e bióticos, comprometendo significativamente sua produtividade (Cruz-González et al., 2025). Em sistemas agrícolas contemporâneos, a exposição simultânea aos estresses é cada vez mais frequente, configurando cenários de estresses combinados que impõem respostas fisiológicas complexas e frequentemente não benéficas às plantas (Tao & Chen, 2025). Nesse contexto, compreender estratégias que integrem atenuação dos estresses torna-se central para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais tolerantes.

Entre os estresses abióticos, a deficiência hídrica destaca-se como um dos principais fatores limitantes da produtividade da cultura, afetando processos fundamentais como expansão celular, assimilação de carbono e eficiência fotossintética (Chen et al., 2016; Seleiman et al., 2021). A restrição hídrica promove alterações estruturais e funcionais nos cloroplastos, incluindo instabilidade das membranas tilacoidais e prejuízos ao fotossistema II, o que resulta em fotoinibição e redução do desempenho fotoquímico (Sun et al., 2023). Esses efeitos fisiológicos iniciais estabelecem a base para alterações metabólicas mais amplas sob estresse hídrico prolongado.

Do ponto de vista bioquímico, a deficiência hídrica induz um desbalanço no metabolismo redox, caracterizado pelo aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (ERO), como peróxido de hidrogênio, ânion superóxido e derivados (Cruz De Carvalho, 2008; Impa et al., 2012). Embora algumas ERO desempenhem funções sinalizadoras em níveis basais, como o peróxido de hidrogênio, sua acumulação excessiva ocasiona danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, comprometendo a integridade celular e a funcionalidade metabólica (Apel & Hirt, 2004; Waszczak et al., 2018a). Portanto, a capacidade antioxidante da planta é determinante

para a tolerância ao déficit hídrico, constituindo um eixo central de investigação em fisiologia vegetal.

Paralelamente ao estresse hídrico, o milho é severamente impactado por insetos-praga, entre as quais se destaca a broca-do-colmo *Diatraea saccharalis* é reconhecida por seu potencial de causar perdas significativas de produtividade (Pérez et al., 2023). O ataque larval resulta na formação de galerias no colmo, prejudicando o transporte de água e fotoassimilados, além de aumentar a suscetibilidade da planta ao acamamento e à infecção por patógenos oportunistas (Cruz et al., 2013). Apesar dos avanços no uso de híbridos Bt e de estratégias químicas de controle, persistem desafios relacionados à sustentabilidade, resistência e compatibilidade com sistemas de manejo integrado (Tabashnik & Carrière, 2017).

A interação entre deficiência hídrica e o estresse biótico adiciona um nível adicional de complexidade à resposta do milho, uma vez que o estresse hídrico pode modificar tanto a qualidade nutricional dos tecidos quanto o perfil metabólico e redox da planta hospedeira (Atkinson & Urwin, 2012; Suzuki et al., 2014a). Evidências recentes indicam que o estresse hídrico pode amplificar respostas oxidativas induzidas pela herbivoria, alterando vias de lignificação, sinalização defensiva e alocação de recursos metabólicos (Awais Ibrahim et al., 2025).

Nesse cenário de estresse combinado, estratégias que fortaleçam o estado fisiológico e antioxidante das plantas se apresentam como alternativas promissoras para reduzir os impactos da herbivoria sob deficiência hídrica (Suzuki et al., 2014b; Zandalinas et al., 2018a). Bioestimulantes de origem vegetal têm sido amplamente estudados por sua capacidade de modular o metabolismo redox, melhorar o status hídrico e preservar a eficiência fotossintética em condições adversas (Arif et al., 2020; Colla et al., 2017). Dentre esses insumos, o extrato foliar de *Moringa oleífera* L. tem se destacado por apresentar efeitos consistentes na atenuação do estresse oxidativo em diferentes culturas.

Estudos demonstram que a aplicação foliar do extrato de *Moringa oleífera* promove melhorias no sistema antioxidante, reduzindo a peroxidação lipídica e a acumulação de ERO, além de favorecer a manutenção da fotossíntese (Anwar et al., 2023a; Hafeez et al., 2022; Yasmeen et al., 2013). Esses efeitos têm sido atribuídos à

riqueza fitoquímica das folhas de *Moringa*, que incluem compostos antioxidantes e metabólitos bioativos capazes de atuar como moduladores fisiológicos (Amaglo et al., 2010; Saini et al., 2016). Apesar dos avanços no entendimento de seus efeitos sobre estresses abióticos, sua atuação em cenários de estresse combinado ainda é pouco explorada.

Dessa forma, embora existam evidências de que a condição fisiológica e o estado redox da planta influenciem a interação com insetos herbívoros (Alipour et al., 2025a; Romero-Puertas et al., 2021), permanece incipiente o conhecimento sobre o papel do extrato foliar de *Moringa oleífera* na atenuação dos efeitos da broca-do-colmo em milho sob deficiência hídrica. A ausência de estudos integrativos que avaliem simultaneamente os efeitos fisiológicos, oxidativos e biológicos desse bioinsumo configura uma lacuna relevante na literatura, cuja investigação pode contribuir para o avanço de estratégias sustentáveis de manejo do milho em ambientes sujeitos a múltiplos estresses.

5. CONCLUSÕES

Os resultados demonstram que a combinação entre deficiência hídrica e herbivoria por *Diatraea saccharalis* desencadeia respostas fisiológicas distintas em plantas de milho, evidenciando a complexidade das interações entre estresses abióticos e bióticos. O déficit hídrico promoveu alterações nos pigmentos fotossintéticos e ativação de mecanismos fotoprotetores, sem aumento significativo da peroxidação lipídica, sugerindo ajustes fisiológicos associados à manutenção do equilíbrio fotoquímico. Por outro lado, a infestação pela broca esteve associada ao aumento da peroxidação de lipídios de membrana, indicando maior intensidade de dano oxidativo decorrente do estresse biótico.

A aplicação do extrato foliar de *Moringa oleífera* (EFM) atuou principalmente na modulação do metabolismo redox, reduzindo os níveis de MDA e H_2O_2 e favorecendo a manutenção da estabilidade do aparato fotossintético. Esse efeito esteve associado sobretudo ao estímulo de mecanismos antioxidantes não enzimáticos, como o acúmulo de glicina-betaína e compostos fenólicos, enquanto as enzimas antioxidantes apresentaram respostas mais específicas ou moderadas. Apesar da atenuação dos danos fisiológicos promovida pelo EFM, a recuperação do crescimento vegetal foi limitada sob estresse severo, refletindo o redirecionamento de recursos metabólicos para processos de manutenção e defesa, além dos danos estruturais provocados pela herbivoria de insetos broqueadores.

De forma geral, os resultados indicam que o EFM atua prioritariamente na proteção funcional do metabolismo vegetal, contribuindo para a manutenção da homeostase redox e da estabilidade fotoquímica sob condições de estresse combinado. Esses efeitos reforçam o potencial de bioinsumos derivados de *Moringa oleífera* como ferramentas promissoras para aumentar a resiliência fisiológica das plantas em sistemas agrícolas sujeitos à ocorrência simultânea de estresses abióticos e bióticos.

6. REFERENCIAS

Ahmed, R., et al. (2023). Exogenous application of *Moringa oleífera* leaf extract and silicon mitigates drought stress in mung bean (*Vigna radiata* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*,

5º Levantamento - Safra 2025/26 — Companhia Nacional de Abastecimento. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/5o-levantamento-safra-2025-26/5o-levantamento-safra-2025-26>

Abd El-Mageed, T. A., Semida, W. M., & Rady, M. M. (2021). Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of The Total Environment*, 751, 141763. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.004>

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 24(12), 1337–1344. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- AL-Kahtani, S. N., Kamara, M. M., Taha, E. K. A., El-Wakeil, N., Aljabr, A., & Mousa, K. M. (2023). Combining Ability and Inheritance Nature of Agronomic Traits and Resistance to Pink Stem (*Sesamia cretica*) and Purple-Lined (*Chilo agamemnon*) Borers in Maize. *Plants* 2023, Vol. 12, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051105>
- Atkinson, N. J., Lilley, C. J., & Urwin, P. E. (2013). Identification of Genes Involved in the Response of Arabidopsis to Simultaneous Biotic and Abiotic Stresses. *Plant Physiology*, 162(4), 2028–2041. <https://doi.org/10.1104/PP.113.222372>
- Azevedo, R. A., Alas, R. M., Smith, R. J., & Lea, P. J. (1998). Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. *Physiologia Plantarum*, 104(2), 280–292. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1998.1040217.x>
- Barrs, H., & Weatherley, P. (1962). A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413–428. <https://doi.org/10.1071/bi9620413>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 1973 39:1, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Batool, S., Khan, S., & Basra, S. M. A. (2020). Foliar application of moringa leaf extract improves the growth of moringa seedlings in winter. *South African Journal of Botany*, 129(4), 347–353. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.08.040>
- Bryant, D. A., & Gisriel, C. J. (2024). The structural basis for light harvesting in organisms producing phycobiliproteins. *The Plant Cell*, 36(10), 4036–4064. <https://doi.org/10.1093/plcell/koae126>
- Carbognin, É. R., Ferreira, C. P., & Fernandes, O. A. (2026). Population dynamics and infestation intensity of *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane (*Saccharum* spp.): Adult monitoring as a decision-support tool in pest management. *Crop Protection*, 201(6), 107482. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2025.107482>
- Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S. B., Ribeiro, C. W., Lazzarotto, F., & Margis-Pinheiro, M. (2012). Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4 SUPPL.), 1011–1019. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600016>
- da Silva, L. C. D., Ferreira, F. I. P., Dezoti, L. A., Nascimento, C. T., Orikasa, C., Takita, M. A., & de Medeiros, A. H. (2022). *Diatraea saccharalis* harbors microorganisms that can affect growth of sugarcane stalk-dwelling fungi. *Brazilian Journal of*

Microbiology : [Publication of the Brazilian Society for Microbiology], 53(1), 255–265.
<https://doi.org/10.1007/s42770-021-00647-4>

El-Beltagi, H. S., Mohamed, H. I., & Sofy, M. R. (2020). Role of Ascorbic acid, Glutathione and Proline Applied as Singly or in Sequence Combination in Improving Chickpea Plant through Physiological Change and Antioxidant Defense under Different Levels of Irrigation Intervals. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(7).
<https://doi.org/10.3390/molecules25071702>

Erb, M., & Reymond, P. (2019). Molecular Interactions between Plants and Insect Herbivores. *Annual Review of Plant Biology*, 70(Volume 70, 2019), 527–557.
<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-095910>

FAOSTAT. (n.d.). Retrieved March 3, 2026, from <https://www.fao.org/faostat/en/#home>

Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309–314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>

Gratão, P. L., Polle, A., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. In *Functional Plant Biology* (Vol. 32, Number 6, pp. 481–494). <https://doi.org/10.1071/FP05016>

Grieco, M., Roustan, V., Dermendjiev, G., Rantala, S., Jain, A., Leonardelli, M., Neumann, K., Berger, V., Engelmeier, D., Bachmann, G., Ebersberger, I., Aro, E. M., Weckwerth, W., & Teige, M. (2020). Adjustment of photosynthetic activity to drought and fluctuating light in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 43(6), 1484.
<https://doi.org/10.1111/pce.13756>

Grieve, C. M., & Grattan, S. R. (1983). Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, 70(2), 303–307.
<https://doi.org/10.1007/BF02374789>

Hafeez, A., Tipu, M. I., Saleem, M. H., Al-Ashkar, I., Saneoka, H., & Sabagh, A. El. (2022). Foliar application of moringa leaf extract (MLE) enhanced antioxidant system, growth, and biomass related attributes in safflower plants. *South African Journal of Botany*, 150, 1087–1095. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.021>

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Al Mahmud, J., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020a). Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants* 2020, Vol. 9, 9(8), 1–52.
<https://doi.org/10.3390/antiox9080681>

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Al Mahmud, J., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020b). Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense in Plants under Abiotic Stress: Revisiting the Crucial Role of a Universal Defense Regulator. *Antioxidants* 2020, Vol. 9, 9(8), 1–52.
<https://doi.org/10.3390/antiox9080681>

- Horikoshi, R. J., Ferrari, G., Dourado, P. M., Climaco, J. I., Vertuan, H. V., Evans, A., Pleau, M., Morrell, K., José, M. O. M. A., Anderson, H., Martinelli, S., Ovejero, R. F. L., Berger, G. U., & Head, G. (2022). MON 95379 Bt maize as a new tool to manage sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) in South America. *Pest Management Science*, 78(8), 3456–3466. <https://doi.org/10.1002/ps.6986>
- Huberty, A. F., & Denno, R. F. (2004). Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: A new synthesis. *Ecology*, 85(5), 1383–1398. <https://doi.org/10.1890/03-0352>
- (IPCC), I. P. on C. C. (2023). Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jiao, S., Zeng, F., Huang, Y., Zhang, L., Mao, J., & Chen, B. (2023). Physiological, biochemical and molecular responses associated with drought tolerance in grafted grapevine. *BMC Plant Biology* 2023 23:1, 23(1), 110-. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04109-x>
- Kampfenkel, K., Van Montagu, M., & Inzé, D. (1995). Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue. *Analytical Biochemistry*, 225(1), 165–167. <https://doi.org/10.1006/abio.1995.1127>
- Keya, S. S., Islam, M. R., Pham, H., Rahman, M. A., Bulle, M., Patwary, A., Kanika, M. M. A. R., Hemel, F. H., Ghosh, T. K., Huda, N., Hawa, Z., Rahman, M. M., & Ravelombola, W. (2025). Thirsty, soaked, and thriving: Maize morpho-physiological and biochemical responses to sequential drought, waterlogging, and re-drying. *Plant Stress*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100722>
- Lagoas, S., Cruz Engenheiro Agrônomo, I., & em Entomologia Embrapa, D. (2007a). *A Broca da Cana-de-Açúcar, Diatraea saccharalis, em Milho, no Brasil*.
- Lagoas, S., Cruz Engenheiro Agrônomo, I., & em Entomologia Embrapa, D. (2007b). *A Broca da Cana-de-Açúcar, Diatraea saccharalis, em Milho, no Brasil*.
- Liava, V., Chaski, C., Añibarro-Ortega, M., Pereira, A., Pinela, J., Barros, L., & Petropoulos, S. A. (2023). The Effect of Biostimulants on Fruit Quality of Processing Tomato Grown under Deficit Irrigation. *Horticulturae* 2023, Vol. 9, 9(11). <https://doi.org/10.3390/horticulturae9111184>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148(C), 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Matsuno, H., & Uritani, I. (1972). Physiological behavior of peroxidase isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. *Plant and Cell Physiology*, 13(6), 1091–1101. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a074815>

- MEDEIROS, F. H. V. de, BAVIA, G. P., & SEIXAS, C. D. S. (2022). *Manejo de doenças fúngicas radiculares da soja*.
- Mihara, M., Uchiyama, M., & Fukuzawa, K. (1980). Thiobarbituric acid value on fresh homogenate of rat as a parameter of lipid peroxidation in aging, CCl₄ intoxication, and vitamin E deficiency. *Biochemical Medicine*, 23(3), 302–311.
[https://doi.org/10.1016/0006-2944\(80\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0006-2944(80)90040-X)
- Monteiro, E. W. de S., Medeiros, T. D. S., Soares, N. R. M., Arraes, D. R. dos S., Costa, M. K. V. da, Ferreira, A. M. de S. D., Queiroz, G. A. de, Farias, A. L. F., Cantuária, P. de C., & Almeida, S. S. M. da S. de. (2021). ESTUDO FITOQUÍMICO DO EXTRATO ETANÓLICO DAS FOLHAS DE MORINGA OLEIFERA LAM. In *Plantas Medicinais do Estado do Amapá: dos relatos da população à pesquisa científica* (pp. 137–152). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/210504518>
- Murshed, R., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2013). Effect of water stress on antioxidant systems and oxidative parameters in fruits of tomato (*Solanum lycopersicon* L, cv. Micro-tom). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 19(3), 363.
<https://doi.org/10.1007/s12298-013-0173-7>
- Patanè, C., Cosentino, S. L., Romano, D., & Toscano, S. (2022). Relative Water Content, Proline, and Antioxidant Enzymes in Leaves of Long Shelf-Life Tomatoes under Drought Stress and Rewatering. *Plants* 2022, Vol. 11, 11(22).
<https://doi.org/10.3390/plants11223045>
- Qi, Y., Ma, L., Ghani, M. I., Peng, Q., Fan, R., Hu, X., & Chen, X. (2023). Effects of Drought Stress Induced by Hypertonic Polyethylene Glycol (PEG-6000) on *Passiflora edulis* Sims Physiological Properties. *Plants* 2023, Vol. 12, 12(12).
<https://doi.org/10.3390/plants12122296>
- Rao, M. J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., Wei, W., Shen, Q., Ji, P., Yang, Y., Conteh, O., Yan, D., Yuan, H., Rauf, A., Ai, J., & Zheng, B. (2025). Antioxidant Defense System in Plants: Reactive Oxygen Species Production, Signaling, and Scavenging During Abiotic Stress-Induced Oxidative Damage. *Horticulturae* 2025, Vol. 11, 11(5).
<https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11050477>
- Ribera, L. M., da Silveira Sousa Junior, G., Meneses, M. D., Pimenta, E. P., Rolim, G. de S., de Azevedo, R. A., & Grato, P. L. (2026). Machine learning model provides stress biomarkers for the classification of abiotic stress in Micro-Tom. *Scientific Reports* 2026 16:1, 16(1), 7545-. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39117-y>
- Saini, R. K., Sivanesan, I., & Keum, Y. S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech* 2016 6:2, 6(2), 203-. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>

- Santiago, R., Barros-Rios, J., & Malvar, R. A. (2013). Impact of Cell Wall Composition on Maize Resistance to Pests and Diseases. *International Journal of Molecular Sciences* 2013, Vol. 14, Pages 6960-6980, 14(4), 6960–6980. <https://doi.org/10.3390/ijms14046960>
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution* 2019 3:3, 3(3), 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants* 2021, Vol. 10, 10(2), 1–25. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Soares, C., Carvalho, M. E. A., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2019). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*, 161, 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009>
- Su, Q., Wang, J., Ling, H., Wang, Z., & Gai, J. (2025). Estimation of Chlorophyll and Water Content in Maize Leaves Under Drought Stress Based on VIS/NIR Spectroscopy. *Processes* 2025, Vol. 13, 13(10). <https://doi.org/10.3390/pr13103087>
- Sun, H., Shi, Q., Liu, N. Y., Zhang, S. B., & Huang, W. (2023). Drought stress delays photosynthetic induction and accelerates photoinhibition under short-term fluctuating light in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.044>
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. (2014a). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203(1), 32–43. <https://doi.org/10.1111/nph.12797>
- Suzuki, N., Rivero, R. M., Shulaev, V., Blumwald, E., & Mittler, R. (2014b). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist*, 203(1), 32–43. <https://doi.org/10.1111/nph.12797>
- Taaban, S. K. (2022). Study of the Efficacy of Moringa Leaf Extract as an Insecticide against White Fly and Aphids Insects. *Iraqi Journal of Industrial Research*, 9(1), 108–114–108–114. <https://doi.org/10.53523/ijoirvol9i1id50>
- Tao, L., & Chen, T. (2025). Special Issue “Plant Responses to Abiotic and Biotic Stresses.” *International Journal of Molecular Sciences* 2025, Vol. 26, 26(19). <https://doi.org/10.3390/ijms26199651>

- Xu, L., Xue, X., Yan, Y., Zhao, X., Li, L., & autores, +2. (2023). *A combinação de silício com melatonina reduz a absorção e translocação de cádmio no milho*. <https://doi.org/10.3390/plantas12203537>
- Yan, W., Lu, Y., Guo, L., Liu, Y., Li, M., Zhang, B., Zhang, B., Zhang, L., Qin, D., & Huo, J. (2024a). Effects of Drought Stress on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence in Blue Honeysuckle. *Plants*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/plants13152115>
- Yan, W., Lu, Y., Guo, L., Liu, Y., Li, M., Zhang, B., Zhang, B., Zhang, L., Qin, D., & Huo, J. (2024b). Effects of Drought Stress on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence in Blue Honeysuckle. *Plants*, 13(15), 2115. <https://doi.org/10.3390/plants13152115>
- Yasmeen, A., Basra, S. M. A., Farooq, M., Rehman, H. ur, Hussain, N., & Athar, H. ur R. (2013). Exogenous application of moringa leaf extract modulates the antioxidant enzyme system to improve wheat performance under saline conditions. *Plant Growth Regulation*, 69(3), 225–233. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9764-5>
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*, 162(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/PPL.12540>