

Francisco Jorge Carlos Souza Junior
Mayara Castro Assunção
(Orgs.)

AVANÇOS DA PESQUISA E INOVAÇÃO EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

CONJUNTURAS DA CIÊNCIAS AGRÁRIAS



VOL. 5



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2026 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2026 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2026
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2026	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A946

Avanços da pesquisa e inovação em sistemas agrícolas: conjunturas da ciências agrárias: volume 5 / Organizadores Francisco Jorge Carlos Souza Junior, Mayara Castro Assunção.– Barueri-SP: Científica Digital, 2026.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui Bibliografia

ISBN 978-65-6155-216-5

DOI 10.37885/978-65-6155-216-5

1. Ciências agrárias. I. Souza Junior, Francisco Jorge Carlos (Organizador). II. Assunção, Mayara Castro (Organizadora). III. Título.

CDD 630

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. XXXX

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2026

Francisco Jorge Carlos Souza Junior
Mayara Castro Assunção
(Orgs.)

**Avanços da Pesquisa e Inovação em
Sistemas Agrícolas: Conjunturas da
Ciências Agrárias**

Volume 5

1ª EDIÇÃO



científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.cientificadigital.org/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Francisco Jorge Carlos de Souza Junior
Mayara Castro Assunção

SUMÁRIO

Capítulo 01

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO ORIZÍCOLA (*ORYZA SATIVA*) NO MUNICÍPIO DE TIMBIRAS-MA NO PERÍODO DE 2004 A 2024

Wemerson Leonardo Cruz da Silva; Francisco de Assis Lopes Bispo Junior; Camila Pereira da Silva; Zenaide Gomes da Silva; Lourenco Oliveira dos Santos; Marcela da Cruz Cardoso; Janaína Iris de Azevedo Silva Muniz; Priscila Soares da Silva; Aldo Muniz de Albuquerque Júnior; Fabio Feitosa Pacheco

 10.37885/260622234 8

Capítulo 02

Gabrielen de Maria Gomes Dias; Marcelo de Almeida Guimarães; Daví Guilherme Bastos Ferreira; Lailla Sabrina Queiroz Nazareno; Jorge Braga Ribeiro Junior

 10.37885/260722357 25

Capítulo 03

APLICATIVO BIOINSUMOS DA EMBRAPA/MAPA: UMA ANÁLISE ATUALIZADA EM 2025

Otávio Augusto Pereira de Carvalho; Valéria Ortaça Portela; Eduarda Pereira de Pereira; Vicente Guilherme Handte; Juliano Borela Magalhães; Rodrigo Ferraz Ramos

 10.37885/260722451 48

SOBRE OS ORGANIZADORES 67

ÍNDICE REMISSIVO 69

DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA PRODUÇÃO ORIZÍCOLA (*ORYZA SATIVA*) NO MUNICÍPIO DE TIMBIRAS-MA NO PERÍODO DE 2004 A 2024

Wemerson Leonardo Cruz da Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Francisco de Assis Lopes Bispo Junior

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Camila Pereira da Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Zenaide Gomes da Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Lourenco Oliveira dos Santos

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Marcela da Cruz Cardoso

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Janaína Iris de Azevedo Silva Muniz

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Priscila Soares da Silva

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Aldo Muniz de Albuquerque Júnior

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Fabio Feitosa Pacheco

Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

RESUMO

A produção de arroz (*Oryza sativa*) tem papel estratégico na segurança alimentar e na economia agrícola de diversas regiões, especialmente em contextos de agricultura familiar, como no município de Timbiras-MA. Considerando sua importância histórica e os impactos recentes sobre a atividade, este estudo teve como objetivo analisar a evolução da produção orizícola local entre 2004 e 2024, identificando tendências, variações e fatores condicionantes. A pesquisa utilizou dados secundários da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM/IBGE), analisando cinco variáveis: área plantada, área colhida, produção total, produtividade e valor da produção. As informações foram organizadas em séries temporais, representadas graficamente com o software R e exploradas por meio da Análise de Componentes Principais (ACP). Os resultados indicaram declínio progressivo na área cultivada e na produção total entre 2004 e 2018, seguido de estabilização em níveis historicamente baixos entre 2019 e 2024, sem evidência estatística de reversão estrutural nesse período. A ACP confirmou a elevada colinearidade entre as variáveis físicas de produção, sem ganhos consistentes de produtividade, enquanto o valor da produção apresentou recuperação relativa nos anos mais recentes, mais associada a fatores de mercado do que ao volume físico colhido. Conclui-se que, sem políticas públicas estruturantes, a atividade segue vulnerável, dependendo da resiliência da agricultura familiar e de ações que promovam sua sustentabilidade e modernização.

Palavras-chave: Agricultura familiar; sustentabilidade produtiva; produtividade agrícola; políticas públicas rurais.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados e consumidos em todo o mundo, representando a base alimentar de grande parte da população, especialmente nos países em desenvolvimento (Russinga *et al.*, 2020). Originário da Ásia, o arroz pertence à família Poaceae e apresenta características fisiológicas que lhe permitem ser cultivado em diferentes condições ambientais, variando entre sistemas irrigados e de sequeiro. Sua relevância vai além do aspecto nutricional, configurando-se como um produto estratégico para a segurança alimentar global (Nawaz *et al.*, 2022).

No cenário agrícola brasileiro, a cultura do arroz ocupa uma posição de destaque tanto pelo volume de produção quanto pela importância social, em virtude do número significativo de pequenos e médios produtores envolvidos em sua cadeia produtiva. As regiões Sul e Nordeste se sobressaem na produção nacional, cada uma com suas particularidades quanto ao sistema de cultivo e contexto socioeconômico. Enquanto no Sul predominam sistemas tecnificados e irrigados, no Nordeste, especialmente em áreas de várzea e sequeiro, a produção mantém características mais tradicionais e familiares (Araújo *et al.*, 2013; Traversa-Tejero; Bortolotto-Cantarelli, 2020).

O estado do Maranhão, inserido na região Nordeste, possui uma longa tradição orizícola, sendo historicamente um dos principais produtores da cultura na região. Com vastas áreas de baixadas e várzeas, além de regiões propícias ao cultivo de sequeiro, o Maranhão desempenhou papel importante no abastecimento de arroz para o mercado regional. Entretanto, ao longo das últimas décadas, a produção maranhense passou por diversas transformações, resultantes de fatores como a expansão da fronteira agrícola em outras regiões do país, mudanças climáticas, e dificuldades logísticas e estruturais (Garcia *et al.*, 2021; Carney; Rosomoff, 2024).

Entre 1975 e 2010, o Maranhão registrou taxas negativas de crescimento na produção, área colhida e produtividade do arroz, com oscilações que se intensificaram a partir da década de 1990. Nesse período, a rizicultura maranhense passou a enfrentar variações expressivas, marcadas pela redução da área plantada em diversos ciclos e por flutuações nos níveis de produtividade. Fatores como a dificuldade de acesso a tecnologias modernas de cultivo, a baixa

mecanização em várias regiões e a ausência de políticas públicas consistentes de apoio à produção impactaram diretamente a dinâmica do setor. Apesar desses desafios, o arroz manteve-se como uma cultura fundamental para a subsistência de numerosas comunidades rurais no estado (Zonta; Silva, 2014).

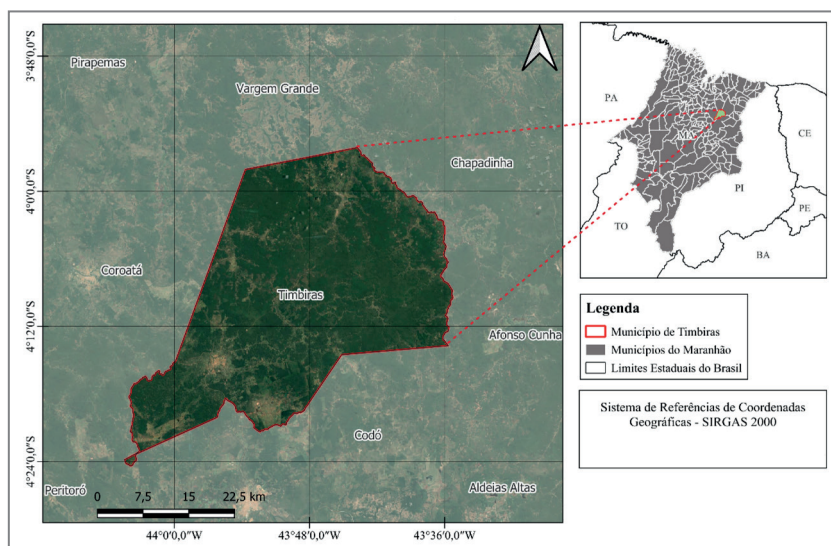
Aspectos econômicos e sociais também se entrelaçam na atividade orizícola maranhense. Em diversas localidades, o cultivo do arroz é uma das principais fontes de renda para os pequenos produtores, funcionando como elo central na organização das atividades econômicas locais. Além disso, o arroz produzido em pequenas propriedades abastece mercados informais, feiras livres e contribui para a alimentação das próprias famílias produtoras, sendo um elemento de resistência cultural e econômica (Kovtun, 2020).

Dada a importância dessa cultura para o estado do Maranhão, o presente trabalho objetivou analisar a evolução e comportamento da produção de arroz (*Oryza sativa*) no município de Timbiras, Maranhão, no período de 2004 a 2024, identificando tendências temporais, mudanças estruturais e fatores associados à dinâmica produtiva.

MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Timbiras, no estado do Maranhão (Figura 1). Espacialmente, o município de Timbiras está localizado na mesorregião Leste Maranhense, abrangendo uma área territorial de 1.486,6 km². De acordo com o Censo Demográfico de 2022, a população residente no município é de 26.484 habitantes, o que resulta em uma densidade demográfica aproximada de 17,82 habitantes por km². Essa configuração territorial e populacional insere Timbiras em um contexto caracterizado por baixa densidade populacional, típico de municípios com forte presença de atividades agropecuárias e grandes extensões de áreas rurais (IBGE, 2023).

Figura 1 - Mapa de localização do município de Timbiras – MA.



Fonte: IBGE, 2023. Elaboração/organização: Autores, 2025.

Os dados analisados neste estudo foram obtidos a partir da base estatística da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (SIDRA, 2025). Foram selecionadas informações referentes à produção de arroz no município de Timbiras, no período compreendido entre os anos de 2004 e 2024. A extração dos dados foi feita por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática, durante consulta realizada em 2025.

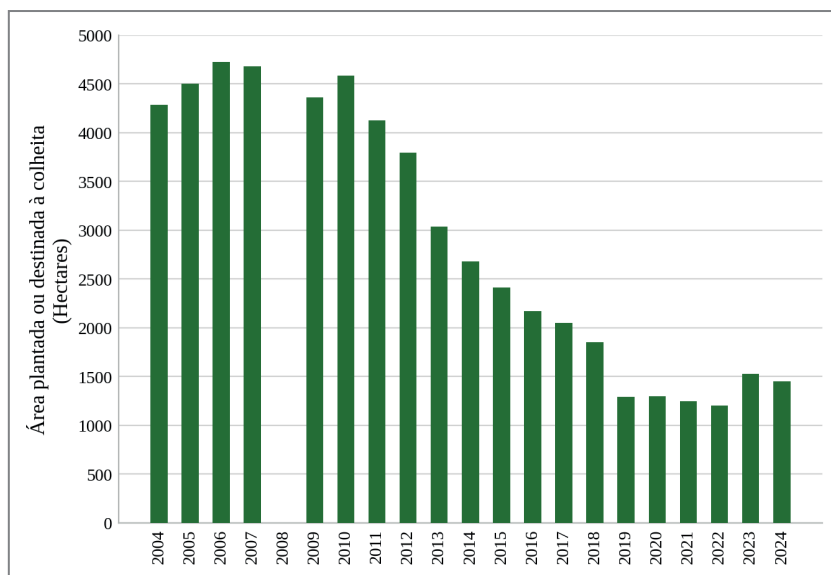
Neste estudo, foram examinadas cinco variáveis associadas à produção de arroz no município de Timbiras. A primeira delas é a extensão da área cultivada, expressa em hectares (ha), que indica a quantidade de terra utilizada para o plantio ao longo do ano. Em seguida, considerou-se a área realmente colhida, também medida em hectares (ha), correspondente à parcela da área plantada que foi efetivamente colhida. Além disso, analisou-se o total produzido, em toneladas (t), que representa o volume anual de arroz colhido. A produtividade foi calculada em quilogramas por hectare (kg/ha), obtida pela divisão da produção total pela área colhida. Por fim, avaliou-se o valor econômico da produção, expresso em milhares de reais (R\$ mil), que foi estimado a partir da combinação da quantidade produzida e do preço médio recebido pelos agricultores.

Os dados obtidos foram transformados em representações gráficas, elaboradas a partir de ferramentas de visualização do ambiente R, especificamente utilizando as funcionalidades do ggplot2. Após essa etapa, empregou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) como método de exploração das variáveis, permitindo a identificação de padrões e a redução da complexidade dos dados. Todo o procedimento foi conduzido na interface do software R, na sua versão 4.2.0 (Lee, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área plantada com arroz em Timbiras oscilou entre 4.286 e 4.725 hectares no quadriênio 2004-2007, o patamar mais elevado de toda a série (Figura 2). Esse regime extensivo foi sustentado pela disponibilidade de terras e pela tradição orizícola local, em um contexto de menor pressão sobre o uso alternativo do solo para outras culturas: na ausência de cultivos concorrentes com maior retorno econômico imediato, a expansão da área plantada era a estratégia mais acessível aos produtores familiares para elevar a produção, já que demandava menor investimento em insumos ou tecnologia do que ganhos de produtividade por hectare. A ausência de registro em 2008 interrompe momentaneamente a série, hiato comum às demais variáveis analisadas e que não compromete a leitura da tendência de longo prazo.

Figura 2 - Área plantada ou destinada a colheita da cultura do arroz no município de Timbiras, Maranhão, no período 2004-2024.



Fonte: Autores, 2026.

Esse regime extensivo não se manteve nos anos seguintes. Entre 2009 e 2018, a área cultivada recuou de 4.363 para 1.850 hectares, perda de 57,6% (Figura 2). O ritmo de queda foi mais acentuado entre 2011 e 2018, quando a área caiu de 4.123 para 1.850 hectares, redução de 55,1% em sete anos. Esse padrão de erosão territorial é compatível com Zonta e Silva (2014), que descrevem a concentração da rizicultura maranhense em polos tecnificados do Sul do estado em detrimento de municípios de agricultura familiar tradicional: à medida que investimentos públicos e privados em irrigação e mecanização se concentraram nas regiões já tecnificadas, Timbiras permaneceu dependente de sistemas de sequeiro e de baixo aporte tecnológico, perdendo competitividade relativa e, com isso, incentivo para manter a mesma escala de cultivo.

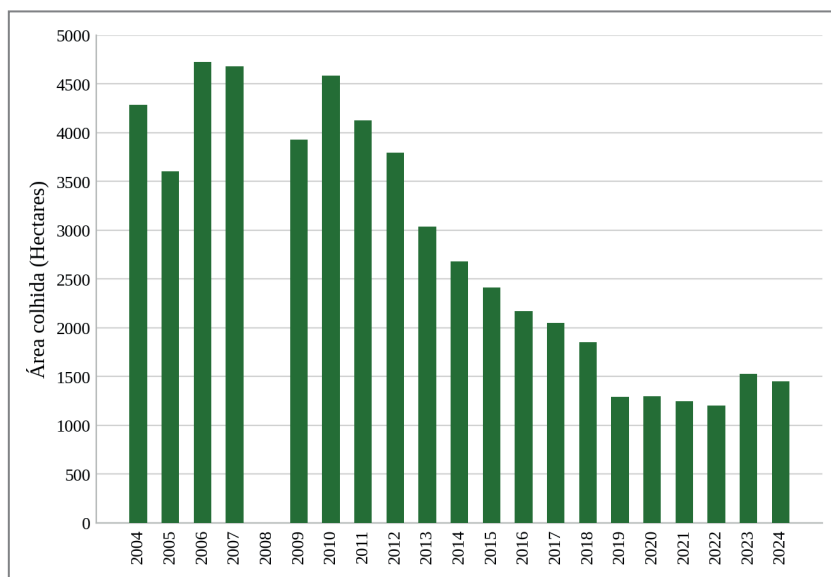
A partir de 2019, a área plantada estabilizou-se em um novo patamar, oscilando entre 1.200 e 1.530 hectares até 2024, com coeficiente de variação de apenas 4,8% nesse intervalo, bem inferior aos 19,5% observados entre 2011 e 2014 (Figura 2). A regressão linear da série completa ($\beta = -209,0$ ha/ano; $R^2 = 0,898$; $p < 0,001$) confirma a robustez da tendência de queda de longo prazo, mas a mesma regressão restrita a 2019-2024 perde significância estatística (β

= 41,1 ha/ano; $R^2 = 0,371$; $p = 0,200$). O teste de comparação de médias entre os períodos anterior e posterior a 2019 (3.517,3 ha e 1.336,7 ha, respectivamente) confirma a existência de uma quebra estrutural na série ($t = 7,34$; $p < 0,001$).

Nesse novo patamar, a área plantada cresceu em 2023 (1.530 ha, o maior valor desde 2018) e recuou em 2024 (1.450 ha, queda de 5,2%), ainda 20,8% acima da mínima da série, registrada em 2022 (1.200 ha) (Figura 2). Esse padrão de alta seguida de recuo parcial é mais compatível com uma oscilação em torno de um piso produtivo do que com a reversão da tendência histórica de queda. Leviäkangas *et al.* (2025) descrevem padrão semelhante em municípios de baixa densidade tecnológica, nos quais avanços pontuais na área cultivada tendem a não se sustentar sem políticas estruturantes e contínuas.

A comparação entre área plantada e área colhida revela um achado relevante para a interpretação do processo de retração (Figura 3). Em dezoito dos vinte anos com registro, a área efetivamente colhida coincide exatamente com a área plantada, sem qualquer perda de área; as únicas exceções ocorrem em 2005 (perda de 20,0%) e em 2009 (perda de 10,0%). Esse resultado indica que a contração da rizicultura municipal, inclusive ao longo de todo o período 2011-2024, operou predominantemente pelo planejamento de menor área de plantio, e não pela perda de lavouras já implantadas em razão de adversidades climáticas, fitossanitárias ou logísticas na colheita.

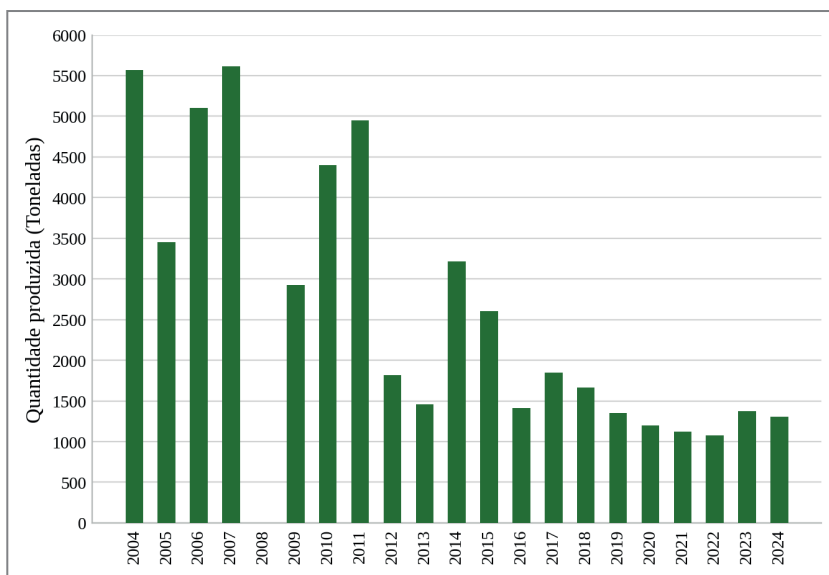
Figura 3 - Área colhida da cultura do arroz no município de Timbiras, Maranhão, no período 2004-2024.



Fonte: Autores, 2026.

O padrão sugere decisões antecipadas de alocação de terra e mão de obra entre culturas concorrentes, hipótese que converge com Mottaleb e Mohanty (2015), os quais associam a contração da rizicultura de pequena escala à reorientação da força de trabalho familiar para atividades de melhor retorno em contextos de elevação de custos de produção (Figura 3). A quantidade produzida acompanha essa mesma trajetória de retração territorial, mas com amplitude de variação maior, o que sugere influência adicional do rendimento médio sobre o volume final colhido (Figura 4). Os anos de 2004 a 2007 concentram os maiores volumes da série, com pico de 5.612 toneladas em 2007.

Figura 4 - Quantidade produzida (toneladas) da cultura do arroz no município de Timbiras, Maranhão, no período 2004-2024.



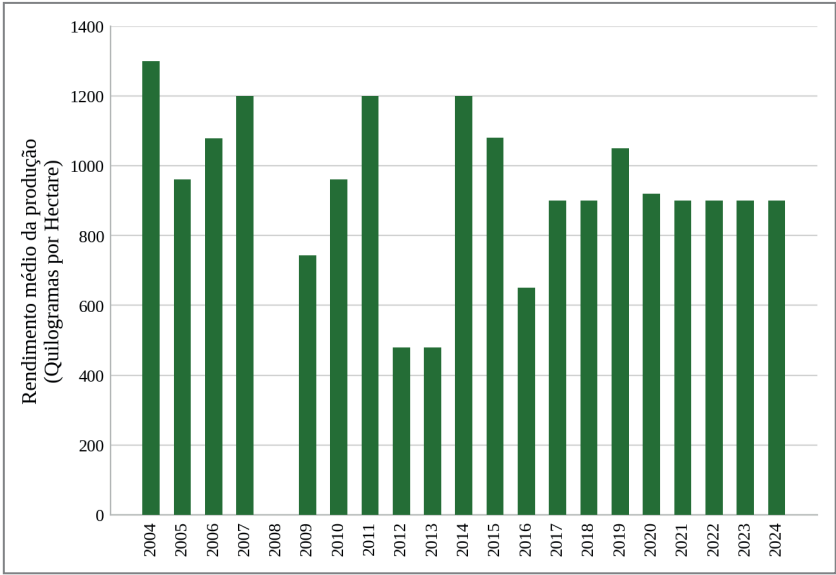
Fonte: Autores, 2026.

A partir de 2012, a produção cai para 1.821 toneladas e atinge seu mínimo histórico em 2022 (1.080 t), recuo de 80,7% em relação ao volume máximo da série (Figura 4). A regressão linear da quantidade produzida sobre o tempo ($\beta = -220,7$ t/ano; $R^2 = 0,714$; $p < 0,001$) confirma essa tendência de queda de longo prazo, e a correlação moderada com o rendimento médio ($r = 0,639$) indica que parte da queda decorre de oscilações de produtividade independentes da área cultivada. Em 2024, a produção atinge 1.305 toneladas, 5,2% inferior a 2023 (1.377 t), queda de magnitude muito próxima à observada na área plantada no mesmo intervalo, evidência de que a retração de 2024 resultou da contração da área, sem alteração relevante no rendimento médio.

O rendimento médio constitui o resultado mais relevante para a interpretação da dinâmica produtiva recente do município (Figura 5). Diferentemente da área e da quantidade produzida, essa variável não exhibe tendência estatisticamente significativa na série completa ($\beta = -9,3$ kg/ha/ano; $R^2 = 0,068$; $p = 0,268$), com mínimo de 480 kg/ha em 2012-2013 e máximo de 1.300 kg/ha em 2004 (CV = 23,8%). Esse padrão de oscilação sem tendência direcional é consistente com Dos Santos *et al.* (2024), que descrevem, para sistemas de arroz dependentes

de condições hídricas variáveis, ganhos e perdas de produtividade respondendo mais a fatores climáticos interanuais do que a uma trajetória tecnológica consolidada. Esse comportamento é coerente com o predomínio do cultivo de sequeiro em Timbiras: sem infraestrutura de irrigação que amortize a variabilidade pluviométrica entre safras, o rendimento por hectare permanece refém da distribuição das chuvas em cada ano agrícola, em vez de evoluir de forma cumulativa com a adoção de insumos, cultivares melhoradas ou correção de solo, o que explica a ausência de tendência ascendente mesmo em um cenário de redução da escala de cultivo.

Figura 5 - Rendimento médio da produção (kg/ha) da cultura do arroz no município de Timbiras, Maranhão, no período 2004-2024.



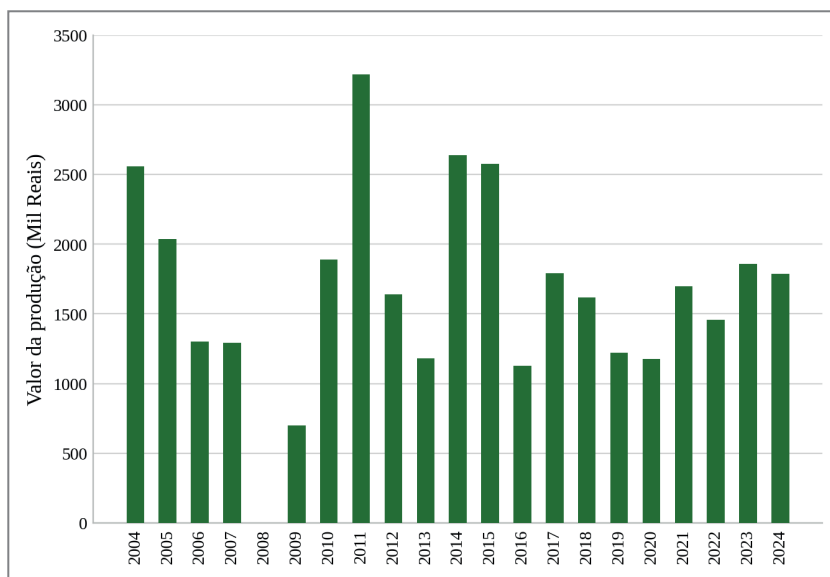
Fonte: Autores, 2026.

Entre 2021 e 2024, o rendimento médio permanece estabilizado em exatamente 900 kg/ha, interrompido apenas pelos valores de 1.050 kg/ha em 2019 e 920 kg/ha em 2020 (Figura 5). Essa repetição exata sugere a adoção, pelo sistema de coleta da Pesquisa Agrícola Municipal, de um parâmetro de referência relativamente estável na ausência de levantamentos mais detalhados, o que recomenda cautela na leitura do rendimento médio como indicador isolado de mudança tecnológica real no período recente. A regressão de 2019-2024

($\beta = -23,1 \text{ kg/ha/ano}$; $R^2 = 0,518$; $p = 0,107$) não atinge significância estatística ao nível de 5%.

O valor da produção descreve a trajetória mais instável de todas as variáveis examinadas (Figura 6). O coeficiente de variação no subperíodo 2011-2014 atinge 42,7%, o mais elevado entre todos os indicadores e subperíodos analisados. A série atinge seu valor máximo em 2011 (R\$ 3.216 mil) e seu mínimo em 2009 (R\$ 701 mil), oscilação que não acompanha de forma direta as variações de área ou de quantidade produzida nesses mesmos anos, conforme indicado pela baixa correlação entre valor da produção e área plantada ($r = 0,146$) e área colhida ($r = 0,165$) na série completa.

Figura 6 - Valor da produção (mil reais) da cultura do arroz no município de Timbiras, Maranhão, no período 2004-2024.



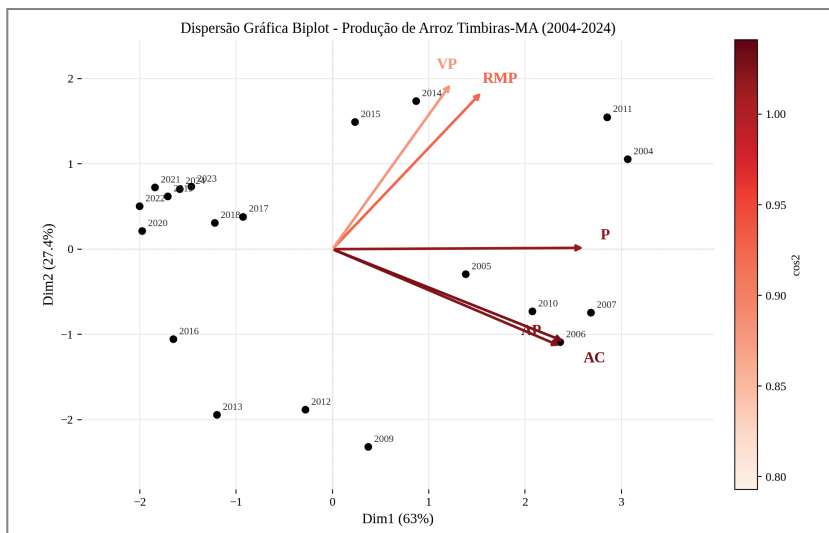
Fonte: Autores, 2026.

Essa dissociação entre a dimensão física e a monetária da produção reforça a interpretação de que o valor agregado responde predominantemente a oscilações do preço pago ao produtor, e não ao volume físico colhido (Souza *et al.*, 2017) (Figura 6). Esse mecanismo é típico de mercados regionais de arroz pouco integrados a grandes excedentes exportáveis: como Timbiras responde por uma fração marginal da oferta nacional, o preço local tende a ser determinado

por condições de oferta e demanda externas ao município, como a disponibilidade de arroz em praças de referência do Nordeste e os custos de transporte e intermediação,, e não pela quantidade efetivamente colhida internamente, o que explica por que o valor da produção pode subir mesmo com a área e a quantidade física estagnadas. Entre 2019 e 2024, contudo, o valor da produção exibe recuperação estatisticamente significativa ($\beta = \text{R\$ } 132,6 \text{ mil/ano}$; $R^2 = 0,718$; $p = 0,033$), subindo de R\$ 1.220 mil para R\$ 1.788 mil, o único indicador entre os cinco analisados a apresentar trajetória ascendente significativa nesse subperíodo. Em 2024, o valor da produção recua 3,8% frente a 2023 (R\$ 1.859 mil), mas permanece 22,6% superior a 2022 (R\$ 1.458 mil), o segundo maior valor da série 2019-2024.

Essa recuperação relativa, em um contexto de área e produção física estagnadas, é compatível com elevação do preço médio recebido pelo produtor (Figura 6). A safra 2023/2024 no Nordeste brasileiro foi marcada pelo fenômeno El Niño (Bento *et al.*, 2020), cujos efeitos sobre o interior do Maranhão se manifestaram como elevação de temperatura e irregularidade pluviométrica, fatores que tendem a restringir a oferta regional e sustentar os preços agrícolas mesmo em cenários de estabilidade do volume físico produzido. A Análise de Componentes Principais confirma, para a série completa, a estrutura de relações entre as variáveis físicas e econômicas da produção (Figura 7).

Figura 7 - Representação gráfica biplot da ACP, evidenciando as relações entre as variáveis de produção de arroz e os anos de cultivo no município de Timbiras, Maranhão, de 2004 a 2024.



Fonte: Autores, 2026.

O primeiro componente, responsável por 63,0% da variância total, é dominado pela área plantada (loading = 0,503), pela área colhida (0,511) e pela quantidade produzida (0,555), variáveis fortemente correlacionadas entre si (r entre 0,857 e 0,988) (Figura 7). Os anos de 2004 a 2007 e 2010-2011 ocupam os escores mais positivos desse eixo (entre 2,08 e 3,06), refletindo o regime extensivo inicial, enquanto os anos de 2016 a 2022 ocupam os escores mais negativos (entre -2,00 e -0,93). O ano de 2024 obtém escore de -1,59 nesse componente, próximo de 2019 (-1,71) e 2023 (-1,47), confirmando sua pertença ao mesmo agrupamento de baixa escala produtiva que caracteriza todo o período posterior a 2018.

O segundo componente, que explica 27,4% da variância, é determinado pelo valor da produção (loading = 0,626) e pelo rendimento médio (loading = 0,594) (Figura 7). Nesse eixo, 2024 obtém escore de 0,71, no mesmo quadrante de 2014, 2015, 2019, 2021 e 2023, anos em que o valor da produção e/ou o rendimento médio superaram suas médias históricas relativas. Esse posicionamento é compatível com a recuperação do valor da produção identificada na análise univariada, mesmo com a retração nominal da área e da quantidade produzida em relação a 2023. Em conjunto, os dois componentes da ACP confirmam que a escala territorial e o desempenho econômico-produtivo constituem dimensões

relativamente independentes da dinâmica orizícola municipal, achado que reforça a leitura obtida pela análise das variáveis isoladamente.

A literatura e os dados analisados sugere um mecanismo comum por trás da retração da rizicultura familiar nordestina: a concentração de investimento em irrigação e mecanização nos polos tecnificados (Zonta; Silva, 2014) eleva o custo de oportunidade de manter mão de obra familiar na lavoura de sequeiro, favorecendo sua realocação para atividades de melhor retorno (Mottaleb; Mohanty, 2015), o que explica por que a resposta observada em Timbiras foi reduzir a área plantada, e não compensar a perda de escala com ganhos de produtividade. Essa mesma lógica explica a fragilidade dos avanços pontuais identificados em 2023: sem mudança na disponibilidade de tecnologia ou crédito que sustente o aumento de escala ou de rendimento, oscilações de curto prazo tendem a não se consolidar (Leviäkangas *et al.*, 2025), enquanto o valor da produção permanece mais sensível a condições de mercado e clima do que ao desempenho físico da lavoura (Souza *et al.*, 2017).

CONCLUSÃO

A análise da produção de arroz em Timbiras, ao longo do período de 2004 a 2024, evidenciou um processo de transformação estrutural que transcende as variações pontuais de área plantada, produtividade e volume produzido. O município passou de uma dinâmica extensiva, com forte dependência da expansão territorial entre 2004 e 2007, para um declínio progressivo entre 2009 e 2022, e finalmente para um regime de estabilização em níveis historicamente baixos a partir de 2019. Essa trajetória foi fortemente condicionada por fatores econômicos, técnicos e institucionais, e a sustentabilidade da atividade passou a depender cada vez mais da resiliência das pequenas unidades familiares de produção.

Os resultados da Análise de Componentes Principais permitiram identificar elevada colinearidade entre área plantada, área colhida e produção total, evidenciando que as flutuações físicas da atividade estiveram diretamente relacionadas à ocupação do território, sem ganhos expressivos de produtividade ao longo da série histórica. Esse padrão reflete um contexto em que a adoção de tecnologias de cultivo modernas, capazes de elevar a eficiência produtiva, permaneceu incipiente. A variável valor da produção, por sua vez, apresentou

comportamento parcialmente dissociado das demais, indicando que a dimensão econômica da rizicultura local foi fortemente impactada por oscilações de mercado, mais do que por incrementos físicos de produção.

O período de 2019 a 2024 caracterizou-se por uma estabilização da produção em níveis historicamente baixos, estatisticamente distinta do regime de contração contínua observado entre 2004 e 2018. Essa estabilização não representa uma consolidação produtiva, mas um estado de equilíbrio precário, sustentado pela persistência da agricultura familiar em áreas de menor escala. A oscilação entre 2023 e 2024, com crescimento da área plantada e do valor da produção em 2023, seguido de recuo parcial em ambos os indicadores em 2024, ainda superiores aos mínimos do período 2019-2022, está associada tanto a fatores de mercado quanto às condições climáticas regionais do episódio de El Niño registrado na safra 2023/2024.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. E. da S. *et al.* Response of traditional upland rice varieties to inoculation with selected diazotrophic bacteria isolated from rice cropped at the Northeast region of Brazil. **Applied Soil Ecology**, [s. l.], v. 64, p. 49–55, 2013.
- CARNEY, J. A.; ROSOMOFF, R. N. Covert cultivars and clandestine communities: rice and the making of an Afrodescendant peasantry in Maranhão, Brazil. **The Journal of Peasant Studies**, [s. l.], v. 51, n. 7, p. 1626–1648, 2024.
- DOS SANTOS, M. P. *et al.* Phenology, gas exchange, biomass accumulation, and irrigated rice yield under alternative irrigation managements. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 116, n. 2, p. 542–562, 2024.
- GARCIA, U. S. *et al.* O perfil socioeconômico e tecnológico dos orizicultores no município de São Mateus Do Maranhão: the socioeconomic and technological profile of the rice producers in São Mateus Do Maranhão. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 56264–56288, 2021.
- GOMES, J. F. B.; TOLEDO, M. M.; GOMES, R. da S. B. O “Sisteminha EMBRAPA” e a rentabilidade, resiliência e sustentabilidade de agroecossistemas familiares: estudo de caso no território da cidadania dos cocais, estado do Maranhão. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 405–425, 2018.
- IBGE. **Timbiras (MA): Cidades e Estados**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/timbiras.html>. Acesso em: 2 ago. 2025.
- KOVTUN, O. V. Pluriatividade e agroindústrias rurais no Maranhão: uma análise baseada no censo agropecuário de 2006. **Revista Pós Ciências Sociais**, [s. l.], v. 16, n. 32, p. 189–217, 2020.

LEE, M. Data analysis with RStudio: An easygoing introduction by Franz Kronthaler and Silke Zöllner. Berlin, Germany: Springer-Verlag GmbH, DE, 2021. pp. 131. **Biometrics**, [s. l.], v. 77, n. 4, p. 1502–1503, 2021.

LEVIÄKANGAS, P. *et al.* Towards smart, digitalised rural regions and communities – Policies, best practices and case studies. **Technology in Society**, [s. l.], v. 81, p. 102824, 2025.

MASUKU, M. M. Subsistence Agriculture as the Basis of Rural Livelihoods in Msinga Local Municipality, Kwazulu-Natal, South Africa. **Journal of Human Ecology**, [s. l.], v. 76, n. 1–3, 2021.

MOTTALEB, K. A.; MOHANTY, S. Farm size and profitability of rice farming under rising input costs. **Journal of Land Use Science**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 243–255, 2015.

NAWAZ, A. *et al.* Increasing sustainability for rice production systems. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 103, p. 103400, 2022.

RUSSINGA, A. M. *et al.* Studies on Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and its Related Traits in Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 9, p. 3180–3186, 2020.

SIDRA. **Produção Agrícola Municipal**. 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 03 ago. 2025.

SILVA, D. D. F. Environmental Impact of Agrochemical uses on the Island's Agricultural Production Area in Maranhão, Brazil. **Global Journal of Science Frontier Research**, [s. l.], v. 20, p. 75–85, 2020.

SILVA, W. L. C. da; SANTOS, L. O. dos; SOUSA, K. R. de. Manejo e fertilidade do solo: abordando a temática através de uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 01, p. 1–17, 2025.

SOUSA, E. C.; LEMOS, J. de J. S.; MENEZES, R. H. N. de. Rainfall instability and per capita production forecast for rainfed food crops in Maranhão State, Brazil. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 21, n. 6, p. 4062–4085, 2023.

SOUZA, Â. R. L. D. *et al.* Economic and accounting evaluation of rice milled production chains in Rio Grande do Sul (Brazil) and Uruguay with application of the Policy Analysis Matrix. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 47, n. 4, 2017.

TRAVERSA-TEJERO, I. P.; BORTOLOTO-CANTARELLI, R. Rice production in the municipality of São Gabriel, RS (Brazil). **Journal of the Selva Andina Biosphere**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 80–91, 2020.

ZHU, Y.; CHEN, J. Small-Scale Farmers' Preference Heterogeneity for Green Agriculture Policy Incentives Identified by Choice Experiment. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 10, p. 5770, 2022.

ZONTA, J. B.; SILVA, F. B. Dinâmica da orizicultura no Maranhão. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 116–132, 2014.

FONTE DE SILÍCIO NO CULTIVO DO GIRASSOL: RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS

Gabrielen de Maria Gomes Dias
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Marcelo de Almeida Guimarães
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Daví Guilherme Bastos Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Lailla Sabrina Queiroz Nazareno
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Jorge Braga Ribeiro Junior
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

RESUMO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa de ampla importância econômica e agrônômica, utilizada para diferentes finalidades, com destaque para a produção de óleo e biocombustível. No Brasil, embora ainda seja cultivado principalmente na entressafra de culturas como soja e milho, seu potencial produtivo pode ser ampliado por pesquisas voltadas ao aumento da produtividade e à redução de custos. Nesse contexto, a Terra Diatomácea (TD), material rico em silício e ainda pouco estudado como fertilizante, apresenta potencial de uso agrícola, pois o silício, embora não essencial, pode proporcionar benefícios ao desenvolvimento das plantas. Assim, objetivou-se avaliar características morfológicas, nos estádios vegetativo e reprodutivo, e fisiológicas de plantas de girassol submetidas a diferentes concentrações de TD. O experimento foi conduzido entre junho e agosto de 2022, em casa de vegetação da estação agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará. Foram avaliadas seis concentrações de TD: 0; 3,0; 6,0; 9,0; 12,0 e 15,0 g kg⁻¹ de substrato, utilizando produto com 90% de SiO₂. As unidades experimentais foram recipientes de 20 L contendo 14 kg de composto orgânico, semeados com a cultivar Multisol. O delineamento foi inteiramente casualizado, com 12 repetições, totalizando 72 unidades experimentais. Entre as variáveis avaliadas, apenas o diâmetro de capítulo apresentou diferença significativa entre os tratamentos, parâmetro diretamente relacionado à produtividade. Conclui-se que a baixa solubilidade da TD, associada às concentrações utilizadas, possivelmente não foi suficiente para alterar a maioria das características morfológicas e fisiológicas do girassol.

Palavras-chave: *Helianthus Annus* L.; Silício; Aspectos Morfofisiológicos.

INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annus* L.) é uma oleaginosa nativa da América do Norte, sendo que seu cultivo se expandiu por toda a América e posteriormente pelo mundo. A Ucrânia foi o grande produtor desses grãos até 2018, produzindo cerca de 14.165 mil toneladas (27,28%), sendo acompanhada pela Rússia com 12.755 mil toneladas (25,57%). No entanto, desde 2019, a Rússia passou a ser o maior produtor mundial do grão (FAO, 2022).

Dentre as oleaginosas, o girassol passou a ser uma das principais opções para os produtores, especialmente a partir de 2005, quando houve grande interesse devido ao aumento da produção de biodiesel (BACKES *et al.*, 2008). Além de sua utilização pela indústria energética, os grãos do girassol também são utilizados na alimentação humana na forma de grãos in natura, tostados, salgados e para a decoração (GAZOLLA *et al.*, 2012).

Suas plantas apresentam vantagens econômicas e agrônômicas, sendo resistentes à seca, a pragas e doenças. Além disso, apresentam rápido ciclo de crescimento com possibilidade de cultivo na entressafra. O girassol pode ser colhido entre 60 e 120 dias após a semeadura (CAVASIN JUNIOR, 2001). De forma geral, essa cultura pode ser plantada em diversos tipos de solos e em condições desfavoráveis, devido a sua rusticidade e capacidade de ser cultivada em consorciação com outras espécies (SANTOS *et al.*, 2013).

Atualmente, o rendimento potencial do girassol no Brasil e no mundo é de, respectivamente, 1,04 - 1,80 t.ha⁻¹ (FAO, 2022). No país, desde o ano de 2013, tem sido verificado decréscimo em área plantada e na produtividade, isso porque há um maior interesse dos produtores por cultivar outras espécies, como a soja e o milho, fazendo com que o girassol seja produzido apenas na entressafra dessas culturas (CONAB, 2022).

Assim, para que as cultivares de girassol possam oferecer produtividade máxima faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que solucionem os principais problemas enfrentados pela cultura em campo como, por exemplo, o acamamento provocado pela inflorescência e problemas fitossanitários.

Dentro deste contexto, diversos estudos têm relatado os benefícios proporcionados pela aplicação de adubos silicatados em várias culturas, como:

Melhoria da arquitetura das plantas (DEREN *et al.*, 1994); Redução dos danos causados por doenças e pragas (LIMA FILHO, 2005); Redução dos danos causados por elementos tóxicos (LIMA FILHO, 2004); e, 4. Melhoria dos processos fisiológicos (YOSHIDA *et al.*, 1962; BALASTRA *et al.*, 1989).

Assim, uma vez que os benefícios provocados pela aplicação do silício vêm sendo relatados para várias culturas, diversas fontes desse elemento mineral têm sido testadas e indicadas em cultivos, a saber: 1. Ácido silícico (ASSIS *et al.*, 2012); 2. Escórias silicatadas (FREITAS *et al.*, 2018; MIRANDA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2013); 3. Silicato de sódio (LEMON NETO *et al.*, 2020); 4. Silicato de potássio (MIRANDA *et al.*, 2018); 5. Silicato de Cálcio (SOUZA *et al.*, 2018), dentre outras.

Um material rico em silício, mas ainda pouco utilizado em estudos que objetivem sua maior absorção por plantas é a Terra Diatomácea (TD). A TD é um pó originário de algas diatomáceas de água doce ou marinha (LORINI *et al.*, 2010), sendo utilizada, principalmente, no controle de pragas de grãos armazenados (MARSARO JÚNIOR *et al.*, 2013; ANTUNES *et al.*, 2013).

Com base no exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento e as características morfofisiológicas de plantas de girassol cultivadas em diferentes concentrações de terra diatomácea em casa de vegetação.

REVISÃO DE LITERATURA

Origem e distribuição geográfica

O girassol é uma planta da família Asteraceae, pertencente a ordem Asterales. É uma dicotiledônea cultivada em ciclos anuais que podem variar de 60 a 120 dias. Seu gênero é derivado do grego Helios (sol) e anthus (flor), ou seja, flor do sol. O gênero em questão possui cerca de 49 espécies, sendo 37 perenes e 12 anuais (CAVASIN JUNIOR, 2001).

Estudos iniciais haviam indicado o Peru como sendo o centro de origem do girassol, no entanto, com o desenvolvimento e aprimoramento das pesquisas arqueológicas verificou-se sua utilização por índios norte-americanos, indicando que esta planta já era cultivada nos estados do Arizona e Novo México, a cerca de 3000 a.C. (SELMECZI-KOVACS, 1975). Além da determinação do verdadeiro

centro de origem, foi comprovado também que sua domesticação ocorreu, principalmente, no Norte do México e no Sudoeste norte-americano, sendo sua dispersão feita pelos ameríndios, os quais coletavam as plantas para o uso alimentar, medicinal e ou decorativo (GAZZOLA *et al.*, 2012).

Caracteres morfológicos

Diversos fatores podem afetar a germinação do girassol, como a disponibilidade de água, temperatura e oxigênio. A luz é considerada um amplificador da germinação, já que contribui para superar a dormência (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Em solos com adequadas condições de oxigênio e água, a temperatura é considerada o principal fator que interfere no sucesso da germinação (CONNOR e HALL, 1997). De acordo com Maeda e Ungaro (1985) e Gay *et al.* (1991), as condições mínimas para a germinação dessa cultura variam de 3 a 6 °C, com ótimo em torno de 26 °C e limite inferior à 40 °C.

O girassol cultivado comercialmente possui o sistema radicular pivotante, formado por uma raiz principal bem desenvolvida e por diversas raízes secundárias, aptas a explorar grande volume de solo (BORTOLLINI *et al.*, 2012), possui sensibilidade a solos compactados, apresentando capacidade de penetração em profundidade, porém com poucas restrições químicas e físicas (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Seu crescimento é mais acelerado que a parte aérea, principalmente no início do ciclo de crescimento. Antes da emissão das primeiras folhas verdadeiras, sua raiz já alcança de quatro a oito centímetros, com seis a dez raízes secundárias. Quando atinge 4 ou 5 pares de folhas é possível encontrar raízes em profundidades de 50 a 70 centímetros. É durante a floração que a raiz atinge seu máximo tamanho, podendo alcançar até quatro metros de profundidade em solos de textura mais arenosa. No entanto, apesar do grande tamanho, a profundidade a ser explorada pelo sistema radicular é dependente das características físicas e químicas do solo, sendo que a maior parte (65%) das raízes funcionais é encontrada nos primeiros 0,4 m (ROSSI, 1998).

A parte aérea do girassol é constituída por haste única, sem ramificações, ereta, áspera e pubescente, de formato cilíndrico por toda a extensão do caule (ROSSI, 1998). Dependendo da cultivar utilizada, pode ser destinada ao consumo animal na forma de forragem ou silagem, além de ser uma das opções como adubo

verde (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Em condições adversas é comum visualizar ramificações laterais que podem gerar novas inflorescências, no entanto, tais estruturas são indesejáveis para a produção de óleo ou sementes. A altura da planta de girassol pode variar de 0,6 a 2,2 m em cultivares comerciais, com o diâmetro do caule entre 1,8 e 5,0 cm, sendo os maiores localizados nas regiões mais próximas da superfície do solo (ROSSI, 1998).

O número de folhas e seus formatos são variáveis de acordo com as condições ambientais e a cultivar, podendo ser alternadas, longopecioladas, acuminadas, romboides, lanceoladas, dentadas, e com pilosidades em ambas as faces (GAZZOLA *et al.*, 2012). Após a germinação epígea, os cotilédones aparecem de maneira alternada, sendo rapidamente sombreados pelo primeiro par de folhas definitivas devido ao maior desenvolvimento do limbo foliar. Em geral, o par de folhas cotiledonares é romboide, podendo ser lanceoladas com bordas lisas. As primeiras folhas verdadeiras são lanceoladas, como pecíolos e limbo mais desenvolvido e borda serreada. O terceiro par é composto por folhas triangulares, com bordas dentadas e, raramente, codiformes (VRÂNCEANU, 1977).

A partir do terceiro par, as folhas crescem de forma alternada, sendo que a distância entre o primeiro e o segundo nó de folhas alternadas é menor quando comparado em relação ao segundo e terceiro, voltando a diminuir entre os nós logo após a emissão da quarta folha. As folhas alternadas, em geral, são longopecioladas, cordiformes e bem desenvolvidas. As terminais têm pecíolos menores e conformação triangular, além de tamanho reduzido. As últimas diferenciaram-se em brácteas, sendo seu número total variável entre 12 a 40 a depender das condições ambientais e da cultivar (GAZZOLA *et al.*, 2012).

Ao fim do estágio vegetativo ocorrem diversas alterações na gema apical o que a torna reprodutiva, originando a inflorescência (CÂMARA, 2003). Tal estrutura é conhecida como capítulo e as flores são dispostas por todo o receptáculo. Em geral, o diâmetro do capítulo é variável, podendo ser de 10 a 22 cm (ROSSI, 1998), 6 a 40 cm (CASTIGLIONI *et al.*, 1994), e 20 a 25 cm (CÂMARA, 2003) a depender da cultivar e das condições edafoclimáticas impostas à planta. O capítulo se divide em: 1. Pedúnculo floral; 2. Receptáculo; 3. Flores; e, 4. Invólucro (ROSSI, 1998). De acordo com Castiglioni *et al.* (1994), o receptáculo pode conter de 100 a 800 flores bissexuadas.

O início do florescimento se dá na periferia do capítulo evoluindo em direção ao centro. A abertura floral ocorre na proporção de 3 a 4 discos de flores ao dia, a depender da temperatura. Tal processo pode levar até 10 dias para se completar quando a temperatura está em torno de 20 °C (RAWSON, 1984). Nesta fase a demanda por água é intensificada, principalmente, em condições de baixa umidade do ar, ventos fortes e temperaturas altas. A baixa disponibilidade de água durante o florescimento acarreta na deiscência do pólen, expulsão das anteras, extensão e redução na receptividade do estigma, tudo isso afetando significativamente a produção de sementes (CONNOR e HALL, 1997).

Utilização e importância econômica

De acordo com Backes *et al.* (2008), até o ano de 2005, a cultura do girassol era destinada para três objetivos principais: 1. Produção de grão para a extração de óleo comestível; 2. Produção de aquênios para alimentação de pássaros; e, 3. Fabricação de rações. Após o referido ano, passou-se a haver interesse, por parte dos grandes produtores, técnicos e empresas, na utilização do óleo para a fabricação do biodiesel. Além das aplicações mencionadas, Gazolla *et al.* (2012), também cita a utilização dos grãos na alimentação humana, na forma de grãos in natura (tostados, salgados e envasados), além da utilização da inflorescência para ornamentação, como outros objetivos para a produção desta espécie.

A produção mundial de girassol cresceu de 47.476 mil para 50.229 mil toneladas no período de 2016 a 2020, tendo seu pico no ano de 2019, quando alcançou pouco mais de 56.000 mil toneladas. A Ucrânia se manteve como maior o produtor mundial do grão até 2018, com 12.775 mil toneladas (27,28%), sendo acompanhada pela Rússia com 12.755 mil toneladas (25,57%). A partir de 2019, a Rússia superou a concorrente com produção de 15.379 mil toneladas contra 15.254 mil, correspondente à 27,45% e 27,22% da produção mundial daquele ano, se mantendo a frente no ano seguinte mesmo com a pandemia de COVID-19 (FAO, 2022). No Brasil os primeiros relatos da utilização e cultivo de girassol datam do início do século XIX na região sul, sendo as primeiras sementes trazidas por colonizadores europeus que as consumiam torradas ou como chás (PELEGRINI, 1985). Naquela época, sua produção não era eficiente devido à falta de cultivares adaptadas à região e a concorrência com a soja

(GAZZOLA, 2012). A produção brasileira de girassol se manteve inexpressiva internamente até o fim da década de 1970, principalmente devido a competição com culturas mais atraentes como soja, milho, algodão e amendoim. Também as poucas tecnologias disponíveis para o cultivo da cultura contribuíram para essa inexpressividade (PELEGRINI, 1985). No entanto, a partir da década de 70, passou-se a haver maior interesse pela cultura, uma vez que o governo passou a incentivar pesquisas sobre culturas oleaginosas, com o objetivo de se reduzir a utilização do petróleo como combustível (GAZZOLA, 2012).

Apesar do incentivo dado no país, ainda hoje vê-se pouca tradição nacional no cultivo de girassol se comparado aos grandes produtores mundiais. A produção prevista para a safra 2021/2022 foi de 58,5 mil toneladas, o que representa apenas 0,29% da produção mundial. Entre as safras 2013/14 e 2020/21, o cultivo do girassol, no Brasil, apresentou um decréscimo significativo, saindo de aproximadamente 232,7 para 41,1 mil toneladas, respectivamente. Atualmente, os estados brasileiros que mais se destacam na produção do girassol são Goiás e Mato Grosso com, respectivamente, 53,04 e 32,36% da produção nacional, ocupando uma área de 26 mil (65,82%) e 9,8 mil hectares (24,81%) da área total plantada no país (CONAB, 2022). Sendo assim, apesar de não ser uma cultura de grande expressão nacional, o girassol apresenta características desejáveis, tais como: 1. Cultivo na entressafra; 2. Ciclo rápido; 3. Rusticidade a condições indesejadas; e, 4. Remobilização de minerais perdidos por lixiviação. Além disso, vem se consolidando como alternativa para o cultivo em sucessão às principais culturas, como milho e a soja, além de ser uma das principais opções entre as oleaginosas para a produção de biodiesel, devido ao alto teor de óleo no grão (38 a 50%) (CASTRO *et al.*, 2010). Assim, para que se possa aproveitar toda essa versatilidade apresentada pela cultura, no Brasil, faz-se necessária a reestruturação de seu sistema agroindustrial de produção, sendo fundamental o desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a geração de novas tecnologias voltadas ao aumento da produtividade, consequentemente, da área explorada (PERSON, 2012).

Dentro deste contexto, o uso de elementos minerais benéficos na forma de fertilizantes, como o silício, pode ser uma das novas tecnologias a serem empregadas. Esse elemento mineral, quando ministrado de forma eficiente, tem

apresentado vários benefícios no cultivo de cereais e oleaginosas em várias regiões produtivas do mundo (VILELA, 2009).

Silício

O silício é o mineral mais abundante na crosta terrestre, sendo o óxido de silício o principal constituinte da maioria dos argilominerais. Apesar disso, em solos tropicais sujeitos a diversos fatores que aceleram a intemperização, o Si é encontrado basicamente como quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e algumas outras formas não disponíveis para as plantas (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001). De forma geral, o silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ (TISDALE *et al.*, 1993). De acordo com MA (2001), os teores de Si na parte aérea das plantas podem ser iguais ou superiores a 10 g kg⁻¹, sendo este o valor mínimo para uma espécie vegetal ser considerada uma planta acumuladora, especialmente quando o Si é depositado nas folhas.

O silício é comprovadamente essencial para as algas diatomáceas, algumas espécies de vegetais e animais, incluindo os seres humanos. No entanto, de forma geral, as plantas conseguem completar seu ciclo biológico na ausência do silício, sendo, por isso, considerado um elemento agronomicamente não essencial (LIMA FILHO, 2005).

Estudos tem demonstrado que a utilização do silício tem interferido de forma significativa nas relações planta/ambiente, já que essa interação tem proporcionado, às plantas, maior resistência às adversidades climáticas, edáficas e biológicas. Já é comprovado que a utilização do silício interfere positivamente em cultivos sob estresses como: temperaturas extremas, veranicos, metais pesados ou tóxicos. De acordo com Deren *et al.* (1994), a absorção de silício possibilita melhorar a arquitetura das plantas e aumentar sua fotossíntese, sendo esse último explicado por Yoshida *et al.* (1962) e Balastra *et al.* (1989), como sendo o resultado da menor abertura do ângulo foliar, o que reduz o auto sombreamento, principalmente em cultivos muito adensados e submetidos a altas doses de nitrogênio.

A adubação silicatada também aumenta a resistência às doenças fúngicas e pragas, principalmente a insetos mastigadores (LIMA FILHO, 2005). Diversos trabalhos indicam que a aplicação de silício possibilita a redução da infestação de lagartas do gênero *Spodoptera* em plantas de milho (GOUSSAIN *et al.*,

2002) e batata-inglesa (SILVA, 2010). Além dos insetos-praga, esse elemento é destaque na redução da severidade e incidência de doenças em várias culturas (POZZA *et al.*, 2015). Bakhat *et al.* (2018) mencionam que a aplicação de adubos silicatados em cultivos agrícolas promovem resistência às plantas contra mancha marrom (*Bipolaris oryzae*), mancha foliar (*Cercospora kikuchii*), oídio (*Sphaerotheca fuliginea*), antracnose (*Colletotrichum* spp.), ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*) entre outras.

Atualmente, há várias fontes de silício que já são utilizadas em pesquisas, como ácido silícico em batata inglesa (ASSIS *et al.*, 2012); escórias silicatadas (Agrosilício) em repolho (FREITAS; JUNQUEIRA; MICHEREFF FILHO, 2012; MIRANDA *et al.*, 2018) e tomateiro (SANTOS; JUNQUEIRA; FREITAS, 2013), silicato de potássio em repolho (MIRANDA *et al.*, 2018), silicato de sódio em alface (LEMON NETO *et al.*, 2020) dentre outras. No entanto, uma outra fonte de silício, ainda pouco estudada em condições de campo e relativamente mais barata se comparada às demais fontes é a "Terra Diatomácea", um pó inerte proveniente de algas diatomáceas fossilizadas que são de origem marinha ou de água doce, sendo a sílica seu principal constituinte (LORINI *et al.*, 2010).

De forma geral, sua utilização tem sido mais frequente para o controle de pragas de grãos armazenados, como *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) (MARSARO JÚNIOR; OLIVEIRA JÚNIOR; PEREIRA, 2013) e *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) (ANTUNES *et al.*, 2013). O princípio de seu uso é baseado na capacidade desse material em aderir a epicutícula dos insetos, o que causa abrasão pelos cristais, sendo que, além dos danos físicos, a adsorção das partículas leva ao rompimento da camada lipídica protetora, o que causa aumento da desidratação corporal e morte dos insetos (LORINI *et al.*, 2010; KORUNIC *et al.*, 2016).

MATERIAL E MÉTODOS

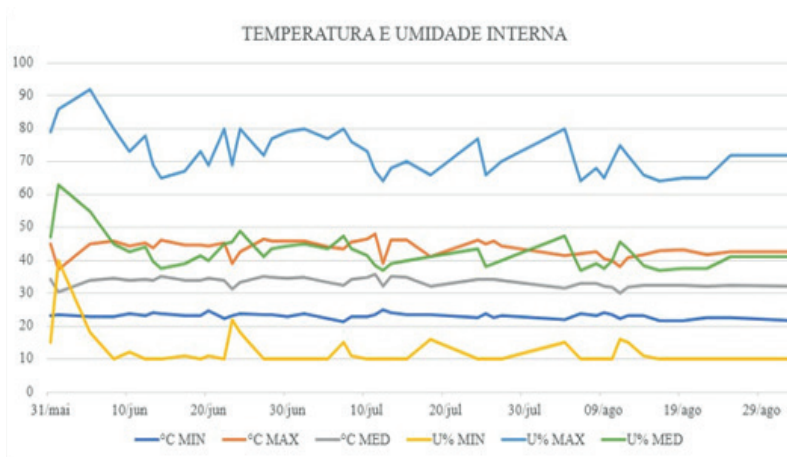
Localização

O trabalho foi conduzido em Casa de Vegetação localizada na Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza - CE, com coordenadas geográficas 04°

15' 26" de latitude sul e 39° 25' 18" de longitude oeste. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw', tropical chuvoso.

Com o uso de um termohigrômetro (modelo 7664.01.0.00, Marca Incoterm) determinaram-se as temperaturas e umidades máximas e mínimas diárias, dentro da casa de vegetação, ao longo de todo o experimento. Esses dados são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Temperatura e umidade, máximas e mínimas, durante o ciclo da cultura, de girassol cultivada com diferentes concentrações de terra diatomácea, dentro da casa de vegetação.



Fonte: Adaptado pelo autor.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, modelo regulável, sendo que a irrigação foi realizada todos os dias no período da manhã, com tempo de rega de aproximadamente 15 minutos, totalizando um volume diário de 4 litros por vaso.

Delineamento experimental e tratamentos

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, no qual os tratamentos foram compostos por diferentes doses de silício orgânico na forma de Terra Diatomácea (90% de SiO₂, BioMarkan®) nas seguintes concentrações por quilo de substrato: T0 (controle); T1 (3,0 g kg⁻¹); T2 (6,0 g kg⁻¹); T3 (9,0 g kg⁻¹); T4 (12,0 g kg⁻¹); T5,0 (15 g kg⁻¹). Foram conduzidas doze repetições por

tratamento, totalizando 72 parcelas (vasos), sendo que cada vaso foi preenchido com 14 kg de substrato. O espaçamento utilizado foi de 0,6 m entre vasos e 0,9 m entre linhas de cultivo, sendo a área total 72 m².

Meio de crescimento e semeadura

Para o desenvolvimento do experimento, foram utilizados recipientes plásticos de 20 L de capacidade, preenchidos com substrato formado a partir de esterco de gado e restos vegetais diversos compostados organicamente na Horta Didática pertencente ao Departamento de Fitotecnia da UFC. Para a determinação das características físico-químicas desse material, foi realizada uma amostragem composta, aproximadamente, um mês antes da instalação do experimento, sendo então obtida uma amostra simples que foi enviada ao Laboratório de Solos de Viçosa, em Viçosa-MG.

O resultado da análise mostrou as seguintes características químicas do substrato utilizado: pH (água) = 7,4; P = 1,03%; K⁺ = 0,16%; Ca₂⁺ = 6,1%; Mg₂⁺ = 0,25%; N = 0,42%; S = 0,3% CO = 2,8%; Na = 0,025%; Zn = 125,6 ppm; Fe = 6688 ppm; Mn = 149,6 ppm; Cu = 17,6 ppm e B = 21,08 ppm.

As doses foram aplicadas às unidades experimentais 3 dias antes da semeadura, sendo incorporados de forma manual e individual ao substrato. Após o preparo dos recipientes de cultivo, procedeu-se com a semeadura da cultura do girassol, cultivar Multissol (BRSEEDS®), no dia 31 de maio de 2022 a uma profundidade de 2 cm. Foram semeadas 7 sementes por repetição, sendo realizado o desbaste aos 14 dias após a semeadura (DAS). Deixou-se apenas a planta mais vigorosa e com aspecto sadio por repetição. Considerou-se como vigorosas e de aspecto sadio as plantas que apresentavam maior comprimento de parte aérea, maior número de folhas, ausência de manchas nas folhas e caule, maior área aparente de folhas e ausência de enrolamento no limbo foliar.

Manejo de insetos polinizadores, pragas e doenças

Devido a necessidade da presença de polinizadores para que a cultura do girassol produza de forma mais eficiente, no início da abertura floral, que ocorreu aos 41 DAS, foi colocado no exterior da casa de vegetação, próximo a

porta de entrada, duas caixas de abelhas sem ferrão da espécie *Scaptotrigona depilis* até os 73 DAS.

Ao longo do ciclo da cultura observou-se infestação de insetos e outras pragas nas plantas, sendo ácaros, cochonilhas, mosca branca e lagartas as mais recorrentes. Para a identificação das pragas a nível de espécie ou família, coletou-se amostras que foram destinadas ao laboratório de Entomologia do Departamento de Fitossanidade da UFC, sendo as seguintes espécies identificadas, *Chrysodeixis includens* (lagarta) e *Bemisia tabaci* (mosca branca), além de ácaros da família Tetranychidae e cochonilhas (não identificadas).

O aparecimento e o pico da infestação das pragas foram em momentos distintos do ciclo da cultura. As cochonilhas apresentaram maior incidência nos primeiros 30 DAS, causando deformações na gema apical de algumas plantas. A infestação por ácaros começou a ocorrer a partir dos 45 DAS, sendo controlados semanalmente. As lagartas e moscas brancas surgiram após a abertura dos capítulos, momento em que a casa de vegetação estava sendo mantida aberta para a entrada de abelhas polinizadoras.

Para o controle das pragas, aos 24 DAS aplicou-se o inseticida sistêmico e de contato Lannate®, do grupo químico metilcarbamato de oxima, com formulação do tipo Concentrado Solúvel (SL), na dose de 15ml.15L⁻¹. Para o controle dos ácaros, aplicou-se o acaricida Kumulus®, pertencente ao grupo químico Enxofre inorgânico com formulação do tipo Grânulos dispersíveis em água (WG), na dose 35g.10L⁻¹ aos 49, 52 e 62 DAS. Aos 74 DAS aplicou-se uma combinação de defensivos para o controle dos ácaros, cochonilhas e lagartas, que haviam se disseminado na área de cultivo após os 65 DAS. Para essa aplicação, utilizou-se a mistura de Lannate®, Assist® e Karate®, nas doses de 15, 115 e 10ml.15L⁻¹, respectivamente. O Assist® é um adjuvante, inseticida e acaricida de contato, do grupo químico dos hidrocarbonetos alifáticos com formulação do tipo concentrado Emulsionável – EC. O Karate® é um inseticida de contato e ingestão do grupo químico piretroide, com formulação tipo suspensão de encapsulado (CS).

Avaliações

Foram realizadas avaliações quantitativas para características morfológicas e fisiológicas das plantas. Descritas a seguir:

Avaliações morfológicas

A altura das plantas foi obtida com o auxílio de uma régua graduada em centímetros na primeira avaliação e com uma trena nas demais, sendo considerada a medida da distância vertical da base da planta (região do coleto) até a extremidade de sua gema apical. Esta medida foi realizada aos 31 e 52 DAS e no momento da colheita dos capítulos, aos 90 ou 97 DAS de acordo com a maturidade fisiológica das sementes. A contagem do número de folhas foi realizada através de contagem direta nas plantas aos 13, 31 e 53 DAS.

Os capítulos foram colhidos, identificados e, posteriormente, levados para o laboratório de Olericultura do Departamento de Fitotecnica da UFC. Avaliaram-se as seguintes variáveis: 1. Dias para abertura completa do capítulo; 2. Número de pétalas por capítulo; e, 3. Diâmetro do capítulo no dia da abertura e na colheita.

O número de dias para a abertura do capítulo foi obtido por meio de visualizações diárias; o número de pétalas foi determinado por contagem visual, sendo que as pétalas foram contabilizadas no dia da abertura total do capítulo; o diâmetro do capítulo foi determinado por meio de um paquímetro digital graduado em milímetros (Marca Mtx® modelo 31619).

Avaliações fisiológicas

Para a realização das análises fisiológicas foi utilizado um analisador de gás infravermelho (IRGA), (modelo LI6400XT, LI-COR, Biosciences Inc. Lincoln, Nebraska (USA)). Os dados foram obtidos aos 42 DAS no período da manhã, sendo utilizada a quarta folha totalmente expandida na porção terminal da parte aérea. Foram determinados os fatores fisiológicos: fotossíntese líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração de CO_2 interno ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e a razão entre a concentração interna de CO_2 e do ambiente (C_i/C_a).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), com comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância, observa-se que não houve diferença significativa, entre os tratamentos, para todas as variáveis morfológicas vegetativas analisadas (TABELA 1).

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para número de folhas (NF), altura de plantas (AP), e diâmetro do caule (DC) de plantas de girassol cultivadas em substrato enriquecido com diferentes concentrações de terra diatomácea em casa de vegetação. Fortaleza, CE, UFC, 2022.

Fontes de Variação	Quadrados Médios							
	GL	NF1	NF2	AP1	AP2	DC1	DC2	DC3
Tratamentos	5	0,239 ^{ns}	0,800 ^{ns}	0,278 ^{ns}	0,5637 ^{ns}	0,1655 ^{ns}	0,346 ^{ns}	0,218 ^{ns}
Repetições	11	0,121 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,206 ^{ns}	0,0594 ^{ns}	0,0027 ^{ns}	0,204 ^{ns}	0,048 ^{ns}
Resíduo	55	-	-	-	-	-	-	-
C.V. (%)	-	13,36	14,68	19,14	13,07	10,78	10,74	10,75

CV = Coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade; * = significativo pelo teste F a 5% e; ns = não significativo pelo teste F a 5%. NF1 e NF2: número de folhas aos 13 e 31 DAS, respectivamente; AP1 e AP2: altura das plantas aos 31 e 90 dias, respectivamente; DC1, DC2 e DC3: diâmetro do caule aos 31, 52 e 90 DAS, respectivamente.

Para as variáveis morfológicas relacionadas ao estágio reprodutivo das plantas, verificou-se diferença significativa apenas para o diâmetro do capítulo (TABELA 2).

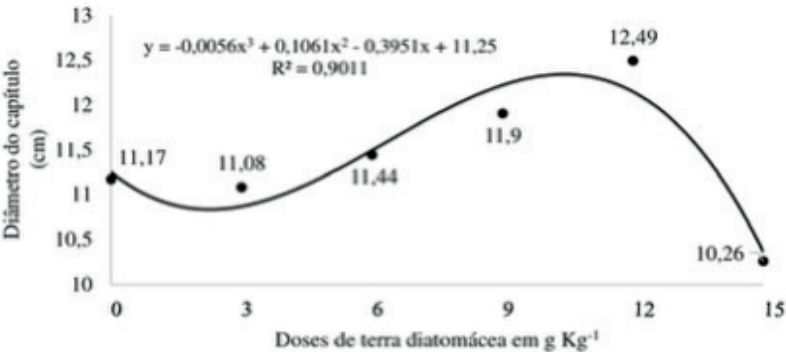
Tabela 2 – Resumo da análise de variância para número de dias para abertura da inflorescência (NDAI), diâmetro do capítulo (DCAP) e número de pétalas (NP) de plantas de girassol cultivadas em substrato enriquecido com diferentes concentrações de terra diatomácea em casa de vegetação. Fortaleza, CE, UFC, 2022.

Fontes de Variação	Quadrados Médios			
	GL	NDAI	DCAP	NP
Tratamentos	5	0,6736 ^{ns}	0,0646*	0,2837 ^{ns}
Repetições	11	0,5358 ^{ns}	0,1258*	0,4345 ^{ns}
Resíduo	55	-	-	-
C.V. (%)	-	9,46	15,50	12,86

CV = Coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade; * = significativo pelo teste F a 5% e; ns = não significativo pelo teste F a 5%.

Para o diâmetro do capítulo (DCAP) pode-se observar que os maiores valores foram verificados para as plantas submetidas à concentração 12 g kg⁻¹, com valor médio de 12,49 cm por planta. Com base nos resultados determinados para o DCAP, foi possível realizar uma análise de regressão com ajuste polinomial de ordem cúbica e confiabilidade de 90,11% (FIGURA 2).

Figura 2 – Análise de regressão polinomial de ordem cúbica de plantas de girassol cultivdas em substrato enriquecido com diferentes concentrações de Terra Diatomácea em casa de vegetação Fortaleza, CE, UFC, 2022.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Silva *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2013) que, trabalhando com fontes diferentes de silício, silicato de potássio (K_2SiO_3) e silicato de cálcio e magnésio ($CaSiCO_3$ e $MgSiCO_3$), respectivamente, obtiveram aumento do diâmetro médio das inflorescências do girassol com o aumento das concentrações de silício. Comportamento semelhante também foi encontrado por Kamenidou *et al.* (2008), que verificaram correlação positiva entre a concentração de silício e o diâmetro do capítulo. No entanto, esses pesquisadores também verificaram aumento na altura das plantas, o que não foi observado neste trabalho. Já Carvalho *et al.* (2009), utilizando como fontes de Si o K_2SiO_3 não encontraram diferença significativa para o DCAP.

De todas as variáveis morfológicas analisadas, o DCAP é considerado determinante para a capacidade produtiva do girassol. Pivetta *et al.* (2020), avaliando híbridos dessa espécie e a relação entre os parâmetros produtivos e qualitativos, verificou que as plantas que apresentavam valores superiores para a variável diâmetro do capítulo, também apresentaram maiores massas de grãos por capítulo, número de grãos por capítulo, produtividade e rendimento de óleo. Infelizmente, tais resultados não foram possíveis avaliar neste trabalho, o que pode estar relacionado a três fatores principais que podem estar ou não associados. No primeiro a falta de resposta pode estar ligada ao uso de uma fonte de Si que apresenta baixa solubilidade (CARVALHO *et al.*, 2009). De acordo com Gunes *et al.* (2018), a absorção do ácido monossilícico na cultura do girassol pode ocorrer nas formas passiva ou ativa, sendo que a concentração do mineral aplicado é o fator determinante para o tipo de transporte, havendo redução da absorção por fluxo de massa em baixas concentrações. Na segunda, as doses utilizadas da fonte de Si podem não ter sido suficientes para causar alterações entre os tratamentos. Já na terceira, essa falta de resposta pode estar relacionada a uma possível deficiência na polinização das plantas dentro da casa de vegetação. Segundo Morgado *et al.* (2002), o girassol depende da presença de polinizadores por ser uma planta alógama, necessitando que haja polinização cruzada. Moreti *et al.* (1989) e Silva *et al.* (1990), verificaram que a associação com as abelhas possibilita ganhos em produtividade entre 4 a 6 vezes quando comparado às plantas ensacadas.

Para as características fisiológicas avaliadas também não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos (TABELAS 3 e 4).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração de CO₂ na câmara subestomática (CI), taxa de transpiração (E), razão entre a concentração de CO₂ na câmara subestomática e a concentração de CO₂ no ambiente (CI/CA) aos 42 DAS de plantas de girassol cultivadas em substrato enriquecido com diferentes concentrações de terra diatomácea em casa de vegetação. Fortaleza, CE, UFC, 2022.

Fontes de Variação	Quadrados Médios					
	GL	A	gs	CI	E	CI/CA
Tratamentos	5	0,6463 ^{ns}	0,1898 ^{ns}	0,4088 ^{ns}	0,4513 ^{ns}	0,4521 ^{ns}
Repetições	11	0,1849 ^{ns}	0,0451 ^{ns}	0,0994 ^{ns}	0,5415 ^{ns}	0,0988 ^{ns}
Resíduo	55	-	-	-	-	-
C.V. (%)	-	11,01	10,77	5,84	9,51	5,44

CV = Coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade; * = significativo pelo teste F a 5% e; ns = não significativo pelo teste F a 5%.

Apesar dos resultados fisiológicos obtidos nesta pesquisa não terem sido significativos entre os tratamentos, de acordo com Heckman (2013), a presença do silício na parte aérea das plantas causa a redução da abertura do ângulo foliar, tornando-as mais eretas, promovendo maior absorção de CO₂ e diminuindo o auto sombreamento, o que faz com que haja um aumento no teor de clorofila e na eficiência fotossintética, portanto, aumentando a produtividade. Além disso, a deposição do silício nas regiões de intensa perda de água, próximo às células guardas dos estômatos, leva ao melhor aproveitamento da água, melhorando a estrutura da planta e diminuindo o acamamento (BYBORDI, 2012; ALI *et al.*, 2013; MATEOS; ANDRADES; DAVY, 2013; SHI *et al.*, 2013). Todos esses resultados reforçam a ocorrência de pelo menos duas hipóteses já levantadas, a de que a terra diatomácea possa ter apresentado baixa solubilidade no substrato e ou que sua aplicação foi realizada em baixas doses, não sendo suficientes para causar efeito significativo nas plantas de girassol, cv. Multissol.

Tabela 4 - Valores médios da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), concentração de CO₂ na câmara subestomática (CI), taxa de transpiração (E), razão entre a concentração de CO₂ na câmara subestomática e a concentração de CO₂ no ambiente (CI/CA) aos 42 DAS de plantas de girassol cultivadas em substrato enriquecido com diferentes concentrações de Terra Diatomácea em casa de vegetação. Fortaleza, CE, UFC, 2022.

Tratamentos	A	gs	CI	E	CI/CA
g Kg ⁻¹	μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	μmol CO ₂	mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	
0	33,45 a	0,678 a	283,04 a	9,27 a	0,751 a
3	34,26 a	0,615 a	272,80 a	8,90 a	0,728 a
6	32,69 a	0,606 a	275,54 a	8,73 a	0,731 a
9	36,19 a	0,603 a	264,29 a	8,60 a	0,708 a
12	34,54 a	0,618 a	272,25 a	8,59 a	0,725 a
15	33,14 a	0,573 a	266,61 a	8,28 a	0,710 a
C.V. (%)	11,01	10,77	5,84	9,51	5,44

I Tratamentos: T0 (controle); T1 (3 g/Kg); T2 (6 g/Kg); T3 (9 g/Kg); T4 (12 g/Kg); T5 (15 g/Kg). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem entre si, pelo teste "t", a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A baixa solubilidade, possivelmente combinada com baixas concentrações de terra diatomácea, não interferiram na maioria dos aspectos morfológicos, fisiológicos e quantitativos avaliados para as plantas de girassol cv. Multissol.

REFERÊNCIAS

- ALI, M. A. M.; RAMEZANI, A.; FAR, S. M.; ASILAN, K. S.; MORADI-GHAHDERIJANI, M.; JAMIAN, S. S. Application of silicon ameliorates salinity stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, n. 20, p. 1367-1372, 2013. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143069351>. Acesso em: 20 out. 2022.
- ANTUNES, L. E. G.; FILHO, E. F.; GOTTARDI, R.; SANT'ANA, J.; DIONELLO, R. G. Efeito da dose e exposição à terra de diatomácea de diferentes insetos em milho armazenado. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 80, n. 2, p. 169-176, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/XZNSrs6ctdyjDrhYwVfFgFL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 out. 2022.
- ASSIS, F. A.; MORAES, J. C.; SILVEIRA, L. C. P.; FRANÇOSO, J.; NASCIMENTO, A. M.; ANTUNES, C. S. Inducers of resistance in potato and its effects on defoliators and predatory insects. **Revista Colombiana de Entomología**, Bogotá, v. 38, n. 1, p. 30-34, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-04882012000100005&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2022.

BACKES, R. L.; SOUZA, A. M.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; GALOTTI, G. J. M.; BAVARESCO, A. Desempenho de cultivares de girassol em duas épocas de plantio de safrinha no planalto norte catarinense. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 41-48, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/10131>. Acesso em: 20 out. 2022.

BAKHAT, H. F.; BIBI, N.; ZIA, Z.; ABBAS, S.; HAMMAD, H. M.; FAHAD, S.; SAEED, S. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: a review. **Crop Protection**, [S. l.], v. 104, p. 21-34, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219417302946>. Acesso em: 22 out. 2022.

BALASTRA, M. L. F.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O.; VILLAREAL, C. P. Effects of silica level on some properties of *Oryza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**, v. 67, p. 2356-2363, 1989. Disponível em: <https://cdnsicencepub.com/doi/abs/10.1139/b89-301>. Acesso em: 22 out. 2022.

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K.; DATNOFF, L. E.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 325-330, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/Dg45m9gdjczL5MKKCMRw9hk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 out. 2022.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidant enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 11, n. 10, p. 1610-1620, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311912601646>. Acesso em: 18 out. 2022.

CÂMARA, G. M. S. Girassol: tecnologia da produção. *l*n: **LPV 0506: plantas oleaginosas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2003. p. 153-180.

CARVALHO, M. P.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, J. G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2394-2399, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/pFDWnYPfxnJ9CjCwL7qhLMr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2022.

CARVALHO, N. M. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 2014. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; CASTRO, C.; SILVEIRA, J. M. **Fases de desenvolvimento da planta do girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1994. 24 p. (Documentos, n. 58). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/445797/1/doc059.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. *l*n: **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 376-420.

CAVASIN JÚNIOR, C. **A cultura do girassol**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 69 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Girassol**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 3 nov. 2022.

CONNOR, D. J.; HALL, A. J. Sunflower physiology. *l*n: SCHNEITER, A. A.; GERALD, J. S.; BARTELS, J. M. **Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 113-182. (Agronomy Monograph, v. 35). Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr35.c4>. Acesso em: 21 out. 2022.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, v. 34, p. 733-737, 1994. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1994.0011183X003400030024x>. Acesso em: 18 out. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS (FAOSTAT). **Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de girassol.** Disponível em: <https://www.fao.org/home/en>. Acesso em: 21 out. 2022.

FREITAS, L. M.; JUNQUEIRA, A. M. R. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 8-13, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1710>. Acesso em: 21 out. 2022.

GAY, C.; CORBINEAU, F.; COME, D. Effects of temperature and oxygen on seed germination and seedling growth in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 31, p. 193-200, 1991. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0098847291900705>. Acesso em: 24 out. 2022.

GAZZOLA, A.; FERREIRA JUNIOR, C. T. G.; CUNHA, D. A.; CORTOLINI, E.; PAIAO, G. D.; PRIMIANO, I. V.; PESTANA, J.; D'ANDRÉA, M. S. C.; OLIVEIRA, M. S. **A cultura do girassol.** Piracicaba: [s. n.], 2012. Disponível em: https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/culturas_anuais/livros/A%20CULTURA%20DO%20GIRASSOL.pdf. Acesso em: 24 out. 2022.

GOUSSAIN, M. M.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G.; NOGUEIRA, N. L.; ROSSI, M. L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 305-310, abr./jun. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ne/a/yLrQhcN6mSjXTwfQrrXHmtr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 out. 2022.

GUNES, A.; PILBEAN, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 13-14, p. 1885-1903, 2008.

HECKMAN, J. Silicon: a beneficial substance. **Better Crops**, v. 97, n. 4, p. 14-16, 2013.

KAMENIDOU, S.; TODD, J. C.; MAREK, S. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. **HortScience**, v. 43, n. 1, p. 236-239, 2008. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/43/1/article-p236.xml>. Acesso em: 20 out. 2022.

KORUNIĆ, Z.; ROZMAN, V.; LISKA, A.; LUCÍĆ, P. A review of natural insecticides based on diatomaceous earths. **Poljoprivreda**, Osijek, v. 22, n. 1, p. 10-18, 2016. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/clanak/235949>. Acesso em: 21 out. 2022.

LEMONS NETO, H. S.; GUIMARÃES, M. A.; SAMPAIO, I. M. G.; RABELO, J. S.; VIANA, C. S.; MESQUITA, R. O. Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce? **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 1, p. 71-77, 2020. Disponível em: <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.098810665208687>. Acesso em: 23 out. 2022.

LIMA FILHO, O. F. **O silício é um fortificante e antiestressante natural para as plantas.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. Disponível em: <http://silifertil.com.br/download-de-artigos/silicio02.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. D. B.; HENNING, A. A. **Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento: série sementes.** Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Circular Técnica, n. 73). Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/577459/1/artigo02.pdf>. Acesso em: 21 out. 2022.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. *In*: DATNOFF, L. E. *et al.* (ed.). **Silicon in Agriculture.** New York: Elsevier Science, 2001. p. 17-39. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0928342001800069>. Acesso em: 21 out. 2022.

MAEDA, J. A. *et al.* Study of sunflower seeds dormancy. *In*: INTERNATIONAL SUNFLOWER CONFERENCE, 11., 1985, Mar del Plata. **Proceedings [...]**. Mar del Plata: Asociación Argentina de Girasol, 1985. v. 11, n. 1, p. 73-79.

MARSARO JÚNIOR, A. L.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M.; SILVA PEREIRA, P. R. V. Eficiência da terra de diatomácea no controle de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em feijão-caupi armazenado. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 11, supl. 2, p. S13-S18, 2013. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/11228>. Acesso em: 19 out. 2022.

MATEOS, N. E.; MORENO, L. A.; DAVY, A. J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 63, p. 115-121, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942812003245>. Acesso em: 18 out. 2022.

MIRANDA, P. S.; SANTOS, J. R. E.; MORAES, T. R.; MALUF, R. P. Efeito do silício no cultivo e pós-colheita do repolho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 30-35, 2018. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/20898>. Acesso em: 20 out. 2022.

MORETI, A. C. **Estudo sobre a polinização entomófila do girassol (*Helianthus annuus* L.) utilizando diferentes métodos de isolamento da flora**. 1990. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

MORGADO, L. N.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; SANTANNA, M. P. Fauna de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) nas flores de girassol *Helianthus annuus* L., em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1167-1177, 2002.

NASCIMENTO, N. V. **Efeito residual da adubação orgânica no crescimento do girassol**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

NEVES, M. B.; BUZZETTI, S.; CASTILHO, R. M. M.; BOARO, C. S. F. Desenvolvimento de plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.) em vasos, em dois substratos com solução nutritiva e em solo. **Científica**, v. 33, p. 127-133, 2005. Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/41>. Acesso em: 20 nov. 2022.

OLIVEIRA, J. T. L.; CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H. G.; GUEDES FILHO, D. H. Crescimento de cultivares de girassol ornamental influenciado por doses de silício no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 123-128, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fJ4KWPrZwdKfQL7gGPm3Kf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 out. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fJ4KWPrZwdKfQL7gGPm3Kf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 24 out. 2022.

PELEGRINI, B. **Girassol: uma planta solar que das Américas conquistou o mundo**. São Paulo: Ícone, 1985. 117 p.

PERSON, L. C. **A cultura do girassol como estratégia de competitividade para o agronegócio regional e nacional: importância para a agroenergia e a alimentação**. 2012. 129 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Agroenergia) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2012.

PIVETTA, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; FIOREZE, S. L.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. Avaliação de híbridos de girassol e relação entre parâmetros produtivos e qualitativos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 561-568, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/VdMwhjzKpJsNMqcrHzhWDMh/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2022.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; BOTELHO, D. M. S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562030013>. Acesso em: 16 nov. 2022.

RAWSON, H. M.; DUNSTONE, R. L.; LONG, M. J.; BEGG, J. E. Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 11, p. 255-265, 1984. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/PP9840255>. Acesso em: 23 out. 2022.

ROSSI, R. O. **Girassol**. [S. l.]: Tecnoagro, 1998.

SANTOS, J. F. *et al.* Comportamento produtivo do girassol em função de doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 40, 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7395427>. Acesso em: 22 out. 2022.

SANTOS, M. C.; FREITAS, L. M. Efeito do silício, nitrogênio e potássio na incidência da traça-do-tomateiro em plantas para processamento industrial. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 3, n. 2, p. 19-24, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2804>. Acesso em: 18 out. 2022.

SELMECZI-KOVACS, A. Akklimatisation und verbreitung der sonnenblume in Europa. **Acta Ethnographica Academiae Hungaricae**, Budapest, v. 24, n. 1-2, p. 47-88, 1975.

SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T. J.; GONG, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 170, n. 9, p. 847-853, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161713000990>. Acesso em: 20 out. 2022.

SILVA, M. N. **A cultura do girassol**. Jaboticabal: FUNEP, 1990. 67 p.

SILVA, V. F.; MORAES, J. C.; MELO, B. M. Fontes de silício na indução de resistência a insetos-praga e no desenvolvimento de plantas de batata inglesa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 5, n. 2, p. 149-156, 2010. Disponível em: <https://orgprints.org/id/eprint/24533/>. Acesso em: 19 out. 2022.

SOUZA, T. M. **Silicato de cálcio como atenuante do estresse salino em mudas de maracujazeiro amarelo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillan, 1993. 634 p. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1966/04000/Soil_Fertility_and_Fertilizers.16.aspx. Acesso em: 20 out. 2022.

VILELA, H. **As fontes de silício (silicatos)**. **Agronomia: artigos científicos**, 2009. Disponível em: http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_fontes_silicio_brasil.htm. Acesso em: 16 nov. 2022.

VRÂNCEANU, A. V. **El girassol**. Tradução espanhola. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1977. 379 p.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 8, p. 15-21, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.1962.10430992>.

APLICATIVO BIOINSUMOS DA EMBRAPA/ MAPA: UMA ANÁLISE ATUALIZADA EM 2025

Otavio Augusto Pereira de Carvalho

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Valéria Ortaça Portela

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Eduarda Pereira de Pereira

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Vicente Guilherme Handte

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Juliano Borela Magalhães

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Rodrigo Ferraz Ramos

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo apresentar um panorama atualizado dos bioinsumos registrados no aplicativo Bioinsumos da Embrapa, com ênfase nos produtos autorizados para uso na agricultura orgânica. A pesquisa foi conduzida entre julho e setembro de 2025, por meio de consulta direta ao aplicativo e análise dos dados oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Complementarmente, realizou-se uma revisão narrativa de literatura sobre o cenário atual da produção, regulamentação e aplicação de bioinsumos no Brasil. Os resultados indicam que o aplicativo reúne 1.623 produtos biológicos registrados, sendo 867 defensivos biológicos e 756 inoculantes. Dentre os defensivos, destacam-se os inseticidas microbiológicos, com 382 produtos (63,6% autorizados para agricultura orgânica), seguidos pelos fungicidas microbiológicos (154 produtos, 37% autorizados para agricultura orgânica) e nematicidas microbiológicos (107 produtos, 3,7% autorizados para agricultura orgânica). Mais da metade dos produtos listados (52,48%) possuem certificação para uso orgânico, evidenciando o avanço da agricultura de base biológica no país. O aplicativo Bioinsumos é uma ferramenta de difusão de informação técnica, transparência regulatória e incentivo à adoção de tecnologias sustentáveis, além de demonstrar o crescimento expressivo do setor impulsionado por políticas públicas e pela demanda de mercado. Conclui-se que a integração entre ciência, tecnologia da informação e agricultura sustentável representa um caminho promissor, contribuindo para o acesso às informações pelo agricultor e para ampliar a competitividade e a sustentabilidade da produção agrícola brasileira.

Palavras-chave: Insumos Biológicos; Produtos Orgânicos; Defensivos Agrícolas.

INTRODUÇÃO

Na última década, a transição para uma agricultura mais sustentável tem se intensificado no Brasil, refletindo um movimento global em direção a sistemas produtivos de menor impacto ambiental e maior eficiência biológica. O uso de bioinsumos tem se expandido tanto em sistemas convencionais quanto em sistemas orgânicos, impulsionado pela crescente demanda por alimentos com menos resíduos químicos e pela busca por práticas agrícolas alinhadas aos princípios da sustentabilidade (DIXIT; BARDIYA, 2025; ROSALES-CASTILLO *et al.*, 2025).

O fortalecimento dessa tendência está diretamente relacionado à implementação do Programa Nacional de Bioinsumos (PNB) em 2020 pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). O programa tem como finalidade promover políticas públicas, incentivos e marcos regulatórios voltados à produção, registro e uso de insumos biológicos no país, contribuindo para o avanço da bioeconomia no setor agropecuário (VITAL *et al.*, 2021).

Segundo o MAPA, o Brasil ocupa atualmente posição de destaque no cenário global, sendo reconhecido como um dos países líderes na utilização de bioinsumos (BRASIL, 2024). Esse protagonismo é resultado do fortalecimento da base regulatória, da ampliação da capacidade produtiva e do desenvolvimento de tecnologias acessíveis ao produtor rural. Entre essas inovações, destaca-se o Aplicativo Bioinsumos, desenvolvido pela Embrapa em parceria com o MAPA, que disponibiliza informações sobre produtos registrados, empresas produtoras e usos recomendados, facilitando o acesso e a rastreabilidade das informações (VITAL *et al.*, 2021).

Os bioinsumos englobam uma ampla variedade de produtos de origem biológica, incluindo microrganismos, macrorganismos, extratos vegetais e substâncias naturais que atuam na promoção do crescimento vegetal, na proteção fitossanitária e na melhoria da qualidade do solo. Dentre esses, destacam-se os microrganismos benéficos, como fungos e bactérias, que exercem papel essencial na dinâmica dos ecossistemas agrícolas, participando de processos como a fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e decomposição de matéria orgânica (STEFFEN *et al.*, 2018). Tais organismos contribuem significativamente para o aumento da eficiência do uso de nutrientes e para a produtividade agrícola de forma sustentável (VIDAL *et al.*, 2020).

De acordo com a CropLife Brasil (2024), o mercado nacional de bioinsumos apresentou crescimento de aproximadamente 15% na safra 2023/24, consolidando o país como referência mundial no uso de defensivos biológicos, bioestimulantes e biofertilizantes. Esse crescimento é acompanhado de avanços em pesquisa e desenvolvimento, voltados à formulação de produtos mais eficientes e à ampliação de sua adoção em diferentes cadeias produtivas.

A tecnologia da informação tem desempenhado papel estratégico nesse processo de consolidação, ao permitir maior integração entre produtores, pesquisadores e órgãos reguladores. As ferramentas digitais, como o Aplicativo Bioinsumos, tornam o acesso às informações mais ágil e transparente, promovendo a difusão de práticas agrícolas sustentáveis e fortalecendo a transição para modelos produtivos de base biológica.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo apresentar o panorama atualizado dos bioinsumos disponíveis no aplicativo Bioinsumos, com ênfase naqueles autorizados para uso na agricultura orgânica, além de discutir os avanços e desafios relacionados à adoção dessas tecnologias no setor agrícola brasileiro.

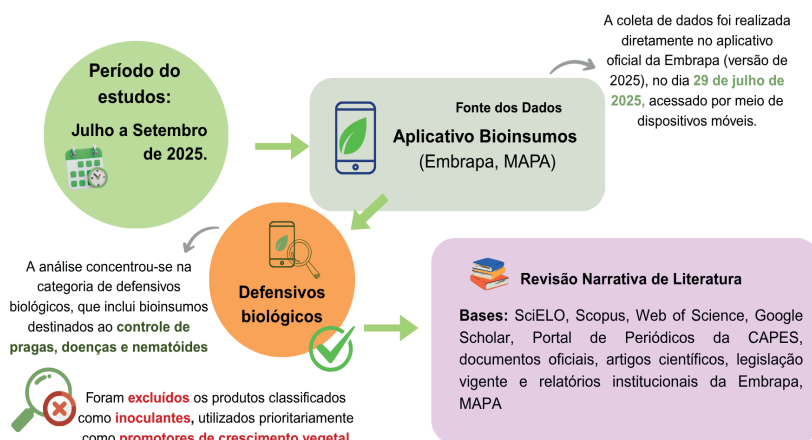
MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido entre julho e setembro de 2025, com base em consulta e análise dos bioinsumos cadastrados no aplicativo Bioinsumos, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em parceria com o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Esta ferramenta compila informações sobre produtos biológicos registrados no MAPA, categorizando-os de acordo com suas finalidades agrônômicas e autorizações de uso.

A coleta de dados foi realizada diretamente no aplicativo Bioinsumos (versão de 2025), no dia 29 de julho de 2025, acessado por meio de dispositivos móveis. O aplicativo Bioinsumos disponibiliza duas abas principais: controle de pragas (produtos dirigidos ao manejo de pragas, doenças e nematoides) e inoculantes (produtos promotores de crescimento). Estes produtos são encontrados de acordo com o modelo de busca que efetuamos no aplicativo, por exemplo, nome comum ou nome científico do alvo a ser controlado, classe

desejada, titular do registro em caso de preferência/confiança em uma empresa específica ou pela cultura que deseja utilizá-los. A análise concentrou-se na categoria de defensivos biológicos, que inclui bioinsumos destinados ao controle de pragas, doenças e nematoides. Foram excluídos os produtos classificados como inoculantes, utilizados prioritariamente como promotores de crescimento vegetal (Figura 1).

Figura 1 - Representação esquemática das etapas que compõem o desenvolvimento metodológico da pesquisa, desde a coleta até a análise dos resultados.



Fonte: Autor, 2025.

O aplicativo Bioinsumos é uma ferramenta móvel (iOS e Android) desenvolvida pelo Programa Nacional de Bioinsumos (MAPA), em parceria com a Embrapa Informática Agropecuária, para divulgar produtos biológicos registrados no país. Lançado em 2022, o aplicativo tem como objetivo facilitar o acesso a informações técnicas e atualizadas sobre produtos biológicos registrados no Brasil, promovendo, assim, a ampliação do uso de tecnologias sustentáveis na agricultura. As informações disponibilizadas na plataforma são fundamentadas nos produtos oficiais registrados no MAPA (2025), garantindo confiabilidade e aderência às regulamentações vigentes.

Complementarmente, para embasar a discussão dos dados obtidos, realizou-se uma revisão narrativa de literatura, com foco em publicações científicas

nacionais e internacionais que abordam o tema de bioinsumos aplicados à agricultura. A busca bibliográfica foi conduzida entre julho a setembro de 2025, utilizando as seguintes bases de dados: SciELO, Scopus, Web of Science, Google Scholar e Portal de Periódicos da CAPES. Os principais descritores e palavras-chaves utilizadas foram: "bioinsumos", "agricultura orgânica", "inseticidas microbiológicos", "fungicidas microbiológicos" e "nematicidas microbiológicos" e "produtos biológicos no Brasil". Foram incluídos estudos publicados entre 2001 e 2025, com ênfase nos últimos cinco anos, dada a intensificação de pesquisas e políticas voltadas à sustentabilidade agrícola nesse período.

Além de artigos científicos, também foram considerados os avanços tecnológicos e desafios relacionados à produção, regulamentação e utilização de bioinsumos no Brasil. Foram consultados documentos oficiais, artigos científicos, legislação vigente e relatórios institucionais da Embrapa e MAPA.

RESULTADOS

Durante o período da pesquisa, o aplicativo Bioinsumos conteve 1.623 bioinsumos, sendo 756 inoculantes para promoção do crescimento vegetal e 867 para o controle de pragas, nematoides e doenças. Os produtos registrados para controle de pragas encontram-se distribuídos em 11 classes, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação, número total e número autorizado para uso na agricultura orgânica de produtos registrados no aplicativo Bioinsumos.

Classificação	Total	Agric. Org.
Acaricidas microbiológicos	73	70
Agente biológico de controle	93	81
Ativador de planta	1	0
Bactericidas microbiológicos	5	0
Feromônios	48	0
Fungicidas	2	0
Fungicidas microbiológicos	154	57
Inseticidas	1	0
Inseticidas microbiológicos	382	243
Nematicidas	1	0
Nematicidas microbiológicos	107	4
Total	867	455

Fonte: Elaborado pelos autores.

Dos 867 bioinsumos registrados no Aplicativo de Bioinsumos, 455 possuem autorização para uso na agricultura orgânica, correspondendo a 52% do total. Esses produtos são geralmente identificados com a indicação “produto fitossanitário com uso aprovado para agricultura orgânica”.

Entre as classes de bioinsumos, os inseticidas microbiológicos representam o maior percentual, com 382 produtos, correspondendo a 44% do total de bioinsumos catalogados no aplicativo. Desses, 243 estão liberados para uso na agricultura orgânica, o que equivale a 64% da categoria. Essa representatividade é significativa, uma vez que esses produtos são amplamente empregados no controle de pragas agrícolas, apresentando ação seletiva, baixo impacto ambiental e compatibilidade com programas de produção sustentável.

A segunda classe com maior número de produtos registrados são os fungicidas microbiológicos, totalizando 154 produtos, dos quais 57 são destinados à agricultura orgânica, correspondendo a 37% do total de bioinsumos. Por fim, os nematicidas microbiológicos somam 107 produtos, sendo apenas 4 autorizados para uso em sistemas orgânicos, representando 3,7% do total de bioinsumos cadastrados.

Além disso, conforme a Tabela 1, entre os 93 produtos classificados como agentes biológicos de controle, 81 possuem aprovação para uso na agricultura orgânica, correspondendo a 87% da categoria, tais produtos referem-se a uma atuação predatória efetuada pelos micro e macrorganismos compostos em suas formulações. No caso dos acaricidas microbiológicos, dos 73 produtos registrados, 70 são autorizados para uso em sistemas orgânicos, representando 96% do total.

Cabe ressaltar o produto classificado como ativador de planta, que age em duplo propósito devido aos ingredientes ativos *Bacillus paralicheniformis* (2 isolados presentes na formulação) e *Bacillus subtilis* (1 isolado presente na formulação), ofertando uma ação de biofertilizante e nematicida. Este produto não é destinado para agricultura orgânica.

A análise dos microrganismos utilizados como princípio ativo dos bioinsumos revela uma concentração em poucas espécies microbianas. Nos acaricidas microbiológicos, o fungo *Beauveria bassiana* está em 88% e o *Metarhizium anisopliae* em 10% destes produtos. Nos bactericidas, o *B. subtilis* e o *B. amyloliquefaciens* aparecem com 60% e 20% dos produtos, respectivamente. Entre os fungicidas microbiológicos, *Trichoderma harzianum* é o princípio ativo de 49% dos produtos e *B. amyloliquefaciens* de 20% produtos. Nos inseticidas microbiológicos, *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* são predominantes, com 38% e 34% dos produtos, respectivamente. Por fim, os nematicidas microbiológicos utilizam apenas *B. subtilis* em 31% destes produtos e o *B. amyloliquefaciens* e *B. velezensis* no restante (23 e 17%). Considerando o total de produtos registrados, *Beauveria bassiana* é a espécie mais representativa, sendo o princípio ativo de 209 produtos, seguida por *Metarhizium anisopliae* (136), *Trichoderma harzianum* (75), *B. amyloliquefaciens* (56) e *B. subtilis* (36). A Tabela 2 apresenta a distribuição das espécies microbianas mais frequentemente utilizadas nos bioinsumos, novamente evidenciando a concentração de princípios ativos em poucas espécies microbianas, principalmente no controle de insetos e doenças fúngicas.

Tabela 2 - Distribuição das cinco principais espécies de microrganismos utilizados como princípio ativo de bioinsumos no Brasil, conforme o aplicativo Bioinsumos.

Classificação	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Bacillus subtilis</i>
Acaricidas microbiológicos	64	7	0	0	0
Bactericida microbiológicos	0	0	0	1	3
Fungicida microbiológicos	0	0	75	30	0
Inseticida microbiológicos	145	129	0	0	0
Nematicida microbiológicos	0	0	0	25	33
Total	209	136	75	56	36

Fonte: Elaborado pelos autores.

DISCUSSÃO

As classes mais representativas de bioinsumos microbiológicos são os inseticidas, fungicidas e nematicidas. Isso ocorre porque são amplamente empregados no controle de pragas agrícolas, têm eficácia no manejo integrado de pragas e doenças, ação seletiva e baixo impacto ambiental. Os principais princípios ativos dos inseticidas biológicos são os fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, reconhecidos pela capacidade de infectar e eliminar insetos-alvo (SHARMA *et al.*, 2024). O processo de infecção ocorre por contato, quando os conídios aderem à cutícula do inseto, germinam e penetram nos tecidos, culminando na morte do hospedeiro por ação mecânica, enzimática e toxigênica (DUKE, 2018). Esses bioinsumos são utilizados em diversas culturas, como soja, milho e hortaliças, constituindo uma ferramenta essencial em estratégias de manejo integrado de pragas (MIP).

Entre os fungicidas microbiológicos destaca-se o gênero *Trichoderma*. As espécies *T. harzianum*, *T. asperellum*, *T. stromaticum* e *T. atroviride* são amplamente estudadas. Elas apresentam um modo de ação múltiplo, agindo tanto diretamente sobre os patógenos, como também fortalecendo o sistema de defesa das plantas (HERMOSA *et al.*, 2012). Além disso, outro microrganismo que podemos destacar como fungicidas, são bactérias do gênero *Bacillus*, como o *B. amyloliquefaciens*, que atua na produção de fitormônios, lipopeptídeos, sintetizando

enzimas e compostos antifúngicos, potencializando o crescimento de algumas plantas (WANG *et al.*, 2020).

Entre os produtos nematocidas, podemos destacar as bactérias do gênero *Bacillus*, como *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. velezensis* (MAPA, 2025), reconhecidas por sua eficácia e múltiplos mecanismos de ação contra esses fitopatógenos, incluindo a produção de enzimas que degradam a cutícula dos nematoides e metabólitos secundários (como lipopeptídeos e policetídeos) que desorganizam suas membranas celulares, inibindo a eclosão dos ovos e o desenvolvimento juvenil (MIGUNOVA; SASANELLI, 2024).

Os acaricidas microbiológicos utilizam principalmente *B. bassiana* e *M. anisopliae*. Os ácaros são pragas comuns em culturas como soja, cana-de-açúcar, bananeira e morango (SHARMA *et al.*, 2024). A utilização desses produtos é compatível com programas de agricultura sustentável, reforçando seu papel na redução de impactos ambientais e na manutenção da biodiversidade. Entre os agentes biológicos de controle, destacam-se os parasitóides *Cotesia flavipes* e *Trichogramma pretiosum*, que atuam sobre ovos de pragas como brocas, lagartas e traças, impedindo seu desenvolvimento até a fase larval. Esses organismos são empregados em culturas de soja, milho, cana-de-açúcar e hortaliças, configurando uma estratégia biológica de manejo de pragas segura e eficiente (KOLLER *et al.*, 2023; CABRAL *et al.*, 2025).

Os ativadores de planta são substâncias adicionadas a fertilizantes e fitossanitários que potencializam a resposta fisiológica das plantas, promovendo maior vigor e resistência. Os principais microrganismos utilizados nesses produtos são *Bacillus paralicheniformis* e *B. subtilis*, que apresentam alta compatibilidade e eficácia em culturas economicamente importantes, como soja, milho e algodão (VIDAL *et al.*, 2021).

Os bactericidas microbiológicos que possuem bactérias do gênero *Bacillus*, como *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*, possuem mecanismos de controle como antagonista contra bactérias fitopatogênicas por competição, produção de metabólitos inibitórios e indução de resistência sistêmica nas plantas (DORIGHELLO *et al.*, 2020). São utilizados em situações de risco à sanidade vegetal e segurança alimentar, prevenindo perdas econômicas e danos à saúde do consumidor (KHAN *et al.*, 2022; MILJAKOVIĆ *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2022 a).

Principais microrganismos utilizados nos bioinsumos e mecanismos de ação

O fungo *Trichoderma harzianum* apresenta múltiplos mecanismos de ação, incluindo micoparasitismo, competição por nutrientes e espaço, e produção de metabólitos antifúngicos, como antibióticos e enzimas líticas, que degradam escleródios de patógenos, reduzindo sua viabilidade no solo (DOMANSKAYA *et al.*, 2021; KUBICEK *et al.*, 2019). Além do controle de patógenos, *T. harzianum* contribui para a promoção do crescimento vegetal, aumentando a resistência sistêmica das plantas e estimulando a atividade de enzimas relacionadas à defesa, como quitinases, glucanases e peroxidases (YANG *et al.*, 2024).

O *Bacillus amyloliquefaciens* atua como promotor de crescimento e controle biológico, produzindo antibióticos e enzimas hidrolíticas que inibem o desenvolvimento de patógenos bacterianos, fúngicos e nematoides (ABREU *et al.*, 2022; RODRIGUES DE ARAÚJO *et al.*, 2025). Além disso, a produção de fitohormônios como auxinas, giberelinas e citocininas favorece o crescimento da parte aérea e do sistema radicular, melhorando a absorção de nutrientes e água e aumentando a resistência das plantas (EL SABAGH *et al.*, 2022, SOSNOWSKI *et al.*, 2023). Os metabólitos secundários, como surfactina, iturina e fengicina, atuam como antibióticos e indutores de resistência sistêmica, promovendo proteção estrutural e bioquímica das plantas contra patógenos (MAKSIMOV *et al.*, 2020, SAIYAM *et al.*, 2024).

A *Beauveria bassiana* destaca-se como um fungo entomopatogênico amplamente distribuído e utilizado na agricultura para a proteção de cultivos (RANESI *et al.*, 2024). Este fungo entomopatogênico é amplamente encontrado em insetos-praga ao redor do mundo (ZHAI *et al.*, 2024) e também atua no solo no combate a outros microrganismos (HARON *et al.*, 2025). O ciclo de *B. bassiana* caracteriza-se por seu comportamento como parasita facultativo. Os conídios penetram a cutícula do inseto em qualquer região, processo mediado por enzimas líticas (ORTIZ-URQUIZA, 2021, QAYYUM *et al.*, 2025), podendo ocorrer também pelas vias respiratória (CLARK *et al.*, 1968) ou digestiva (BROOME *et al.*, 1976). Após a penetração, formam-se tubos germinativos e hifas que atravessam o tegumento. A multiplicação do fungo ocorre na hemolinfa do inseto, onde se

desenvolve uma massa hifal que consome os nutrientes, levando o hospedeiro à morte (LAZZARINI, 2005).

O processo infeccioso de *M. anisopliae* envolve as etapas de fixação do esporo à cutícula, germinação e formação de apressórios, penetração, superação das defesas do hospedeiro e disseminação interna por meio de corpos hifais ou blastosporos. A infecção ocorre principalmente por via percutânea, nas regiões intersegmentares do inseto, favorecida pela hidrofobicidade dos conídios. O sucesso da germinação depende de fatores como suscetibilidade do hospedeiro, estágio de desenvolvimento, temperatura e umidade. Os lipídios cuticulares, como ácidos graxos e ceras, podem interferir na germinação, enquanto aminoácidos e peptídeos da cutícula atuam no reconhecimento do fungo. A germinação dos conídios ocorre geralmente nas primeiras 20 horas após o contato, com formação de estruturas de penetração auxiliadas por enzimas como proteases, quitinases e lipases (BOUCIAS; PENDLAND, 1998). Durante a infecção, o hospedeiro ativa respostas imunes como produção de fenoloxidasas e melanização, mas o fungo supera essas defesas e dissemina-se pela hemo-linfa, consumindo seus nutrientes até a morte do inseto (NAKHLEH *et al.*, 2017).

O modo de ação de *Bacillus subtilis* está associado à produção de compostos antimicrobianos, como lipopeptídeos e enzimas hidrolíticas, que inibem o crescimento de fungos patogênicos (MILJAKOVIĆ *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2020). Além disso, espécies de *Bacillus* colonizam a rizosfera e estimulam o crescimento vegetal, conferindo maior resistência a infecções (TSOTETSI *et al.*, 2022).

Bacillus amyloliquefaciens é uma bactéria de vida livre presente no solo, com propriedades de promoção do crescimento vegetal e controle microbiológico. Trata-se de uma bactéria aeróbica, gram-positiva e formadora de endósporos, o que lhe confere elevada capacidade de sobrevivência (AHLEM *et al.*, 2012; FAN *et al.*, 2012; TORRES *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2018). O controle biológico é atribuído à produção de antibióticos e compostos orgânicos com ação bactericida, nematicida e fungicida (CHEN *et al.*, 2010). Essa bactéria também secreta enzimas como amilases, celulases, proteases e quitinases, capazes de degradar componentes da parede celular de fungos fitopatogênicos e nematoides. Além disso, produz fitormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas, que promovem

o crescimento radicular e da parte aérea, aumentando a absorção de nutrientes e a resistência das plantas (NGALIMAT *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022 b).

Os metabólitos secundários produzidos por *B. amyloliquefaciens*, especialmente os lipopeptídeos (LPs), despertam grande interesse científico. Esses biossurfactantes, como a surfactina, iturina, fengicina, bacilomicina e plipastatina, apresentam forte atividade antifúngica e podem induzir resistência sistêmica em plantas (FERNANDES *et al.*, 2007; FARZAND *et al.*, 2020; KIM *et al.*, 2017; CROUZET *et al.*, 2020). Essa resistência pode ocorrer por mecanismos estruturais, como o aumento da lignificação, ou bioquímicos, por meio da síntese de compostos fenólicos e enzimas de defesa (ROMEIRO; GARCIA, 2003; CHUNG; KIM, 2005; DANIELSSON *et al.*, 2006; NEWMAN *et al.*, 2013).

O *Trichoderma harzianum* atua no controle biológico por múltiplos mecanismos, incluindo micoparasitismo, competição por espaço e nutrientes, e produção de metabólitos antifúngicos (DOMANSKAYA *et al.*, 2021). Esse fungo é capaz de degradar escleródios de patógenos, reduzindo sua viabilidade no solo (YANG *et al.*, 2024), além de induzir resistência sistêmica nas plantas, ativando enzimas como quitinases, glucanases e peroxidases envolvidas nas rotas de defesa vegetal (MAURYA *et al.*, 2024). A alta capacidade de inibição de *T. harzianum* está associada à produção de antibióticos, enzimas líticas e metabólitos secundários, voláteis e não voláteis, com atividade antibiótica (AOYAGI, *et al.*, 2021, MAURYA *et al.*, 2024). Há também evidências de que o fungo degrada melanina dos escleródios, reduzindo sua resistência e capacidade germinativa (ABREU *et al.*, 2025).

Os fungos do gênero *Trichoderma* são de vida livre, reproduzem-se assexuadamente e ocorrem com frequência em solos de regiões tropicais e temperadas. Muitas linhagens não possuem fase sexual conhecida e são classificadas na subdivisão Deuteromycotina (HARMAN *et al.*, 2004a). Devido à sua ampla eficiência, *T. harzianum* é um dos fungos mais estudados em condições de laboratório, casa de vegetação e campo, tanto no Brasil quanto em outros países (ALTOMARE *et al.*, 1999; RESENDE *et al.*, 2004; DELGADO *et al.*, 2007; LOUZADA *et al.*, 2009). Além do controle biológico, também atua na promoção do crescimento vegetal por meio da solubilização de nutrientes e produção

de compostos bioativos (ALTOMARE *et al.*, 1999; BAUGH; ESCOBAR, 2007; POMELLA; RIBEIRO, 2009).

Por fim, a análise dos microrganismos mais recorrentes no aplicativo Bioinsumos evidencia que *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *T. harzianum* são os principais agentes biológicos empregados na agricultura brasileira, refletindo sua relevância pelo amplo espectro de ação e pela eficiência em sistemas de manejo integrado de pragas e doenças. A predominância desses microrganismos reforça a importância de políticas de fomento à pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos, especialmente para diversificar a base genética de microrganismos utilizados como princípio ativo dos bioinsumos, que atualmente está concentrada em poucas espécies.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento do setor de bioinsumos é fundamental para promover o uso destes produtos nas lavouras e o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável e competitiva no país. No Brasil, o aplicativo Bioinsumos é uma ferramenta prática de consulta e divulgação de informações técnicas. O aplicativo reúne 1.623 produtos biológicos registrados, sendo 867 defensivos biológicos e 756 inoculantes. Dentre os defensivos, destacam-se os inseticidas microbiológicos, com 382 produtos (63,6% autorizados para agricultura orgânica), seguidos pelos fungicidas microbiológicos (154 produtos, 37%) e nematicidas microbiológicos (107 produtos, 3,7%). Observa-se ainda que mais da metade dos produtos registrados possui certificação para uso na agricultura orgânica, reforçando a consolidação dos insumos biológicos como alternativa sustentável aos agroquímicos. O aplicativo se destaca por reunir dados atualizados, promover transparência e facilitar o acesso a tecnologias sustentáveis, fortalecendo a integração entre pesquisa, inovação e extensão rural.

As informações já contidas no aplicativo são de suma importância quando abordamos os bioinsumos. Como sugestão para que essa tecnologia seja cada vez mais incorporada no meio agrícola, deve-se conter alguns detalhes que irão facilitar e reduzir falhas na utilização destes produtos, como por exemplo, culturas atendidas, ineficiência no contato com outros produtos na calda ou ambiente

aplicado (deve incluir período de carência em pré e pós aplicação, caso tenha problema com outros produtos), modo de aplicação e modo de armazenamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Código Financeiro 001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Projeto nº 305046/2018-7) pelo financiamento, bem como ao Laboratório de Biologia do Solo e ao Departamento de Solos/CCR da Universidade Federal de Santa Maria.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. D. P. S. *et al.* Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 1, 2022.

ABREU, L. D. P. S. *et al.* Controle biológico de *Sclerotinia sclerotiorum*: ação de *Bacillus* spp. e *Trichoderma harzianum*. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, 2025.

AHLEM, H. *et al.* Effect of pH, temperature and water activity on the inhibition of *Botrytis cinerea* by *Bacillus amyloliquefaciens* isolates. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 9, p. 2210-2217, 2012.

ALTOMARE, C. *et al.* Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, n. 7, p. 2926-2933, 1999.

AOYAGI, L. N.; DOI, S. M. O. Avaliação da atividade antagonista de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium oxysporum* e *Botrytis cinerea*. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 3, p. 3234-3239, 2021.

BAUGH, C. L.; ESCOBAR, B. The genus *Bacillus* and genus *Trichoderma* for agricultural bioaugmentation. **Rice Farm Magazine**, v. 1, n. 4, p. 1-4, 2007.

BOUCIAS, D. G.; PENDLAND, J. C. **Principles of Insect Pathology**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Líder global na utilização de bioinsumos, Brasil apresenta panorama regulatório de registros biológicos na ABIM. Brasília, DF, 22 out. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/lider-global-na-utilizacao-de-bioinsumos-brasil-apresenta-panorama-regulatorio-de-registros-biologicos-na-abim>. Acesso em: 30 out. 2025.

BROOME, J. R.; SIKOROWSKI, P. P.; NORMENT, B. R. A mechanism of pathogenicity of *Beauveria bassiana* on larvae of the imported fire ant, *Solenopsis richteri*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 28, p. 87-91, 1976.

CABRAL, E. D. O. *et al.* Evaluating field-collected populations of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae): enhancing biological traits and flight activity for improved laboratory mass rearing. **Insects**, v. 16, n. 6, art. 571, 2025.

CHEN, L. *et al.* Characterization of two anti-fungal lipopeptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* SHB10. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 22, p. 8822-8827, 2010.

CHUNG, S.; KIM, S. D. Biological control of phytopathogenic fungi by *Bacillus amyloliquefaciens* 7079: suppression rates are better than popular chemical fungicides. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 15, n. 5, p. 1011-1021, 2005.

CLARK, T. B. *et al.* Field and laboratory studies of the pathogenicity of the fungus *Beauveria bassiana* to three genera of mosquitoes. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 11, p. 1-7, 1968.

CROPLIFE BRASIL. Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024. [S. l.]: CropLife Brasil, 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/noticias/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>. Acesso em: 8 out. 2025.

CROUZET, J. *et al.* Biosurfactants in plant protection against diseases: rhamnolipids and lipopeptides case study. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, art. 1014, 2020.

DANIELSSON, J.; REVA, O.; MEIJER, J. Protection of oilseed rape (*Brassica napus*) toward fungal pathogens by strains of plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens*. **Microbial Ecology**, v. 54, n. 1, p. 134-140, 2007.

DELGADO, G. V. *et al.* **Inibição do crescimento de *Sclerotinia sclerotiorum* por *Trichoderma* spp. in vitro**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. 12 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 214). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/189688>. Acesso em: 22 out. 2025.

DIXIT, S.; BARDIYA, S. Traditional organic farming in India: merging ancient practices with modern bio-inputs and green technologies. **IJSAT – International Journal on Science and Technology**, v. 16, n. 2, 2025.

DOMANSKAYA, O. *et al.* The multiple activities and the plant beneficial potential of *Bacillus* spp. derived from the permafrost of western Siberia. **Agronomy**, v. 11, n. 11, art. 2347, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112347>.

DORIGHELLO, D. V. *et al.* Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, n. 1, p. 79-86, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-019-00677-5>.

DUKE, S. O. Interaction of chemical pesticides and their formulation ingredients with microbes associated with plants and plant pests. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 29, p. 7553-7561, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02316>.

EL SABAGH, A. *et al.* Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. **Frontiers in Agronomy**, v. 4, art. 765068, 2022.

FAN, B. *et al.* Gram-positive rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 colonizes three types of plants in different patterns. **Journal of Microbiology**, v. 50, n. 1, p. 38-44, 2012.

FARZAND, A. *et al.* Transcriptional profiling of diffusible lipopeptides and fungal virulence genes during *Bacillus amyloliquefaciens* EZ1509-mediated suppression of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Phytopathology**, v. 110, n. 2, p. 317-326, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-19-0203-R>.

FERNANDES, P. A. V. *et al.* Antimicrobial activity of surfactants produced by *Bacillus subtilis* R14 against multidrug-resistant bacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 4, p. 704-709, 2007.

HARMAN, G. E.; HOWELL, C. R.; VITERBO, A.; CHET, I.; LORITO, M. *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HARMAN, G. E. *et al.* *Trichoderma* species: opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HARON, E. N. *et al.* Colonization effect of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. on tomato plant and *Bemisia tabaci*. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, art. 17067, 2025.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. **Microbiology**, v. 158, n. 1, p. 17-25, 2012.

KHAN, A. *et al.* *Bacillus* spp. as bioagents: uses and application for sustainable agriculture. **Biology**, v. 11, n. 12, art. 1763, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11121763>.

KIM, K. *et al.* Chemosensitization of *Fusarium graminearum* to chemical fungicides using cyclic lipopeptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* strain JCK-12. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, art. 2010, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02010>.

KOLLER, J. *et al.* Entomopathogens and parasitoids allied in biocontrol: a systematic review. **Pathogens**, v. 12, n. 7, art. 957, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens12070957>.

KUBICEK, C. P. *et al.* *Trichoderma*: the genomics of a hypervirulent fungus. **Nature Reviews Microbiology**, v. 17, n. 10, p. 751-765, 2019.

LAZZARINI, G. M. J. **Efeito da umidade sobre a germinação in vitro de Beauveria bassiana e Metarhizium anisopliae e atividade contra Triatoma infestans**. 2005. 46 f. Dissertação (Mestrado em Parasitologia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

LOUZADA, G. A. S. *et al.* Potencial antagonico de *Trichoderma* spp. originários de diferentes ecossistemas contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Fusarium solani*. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 145-149, 2009.

MAKSIMOV, I. V. *et al.* Prospects and applications of lipopeptide-producing bacteria for plant protection. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 56, n. 1, p. 15-28, 2020.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Coordenação de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários – AGROFIT: consulta de produtos formulados**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 5 set. 2025.

MAURYA, S. *et al.* *Trichoderma* and their secondary metabolites: a potential approach in plant disease management. **Biopesticides International**, v. 20, n. 1, 2024.

MIGUNOVA, V. D.; SASANELLI, N. Bactérias como ferramenta de biocontrole contra nematoides fitoparasitas. **Plants**, v. 10, n. 2, art. 389, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10020389>.

MILJAKOVIĆ, D. *et al.* Screening of *Bacillus* spp. as potential biocontrol agents against sunflower pathogens. **Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke**, n. 143, p. 65-72, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2298/ZMSPN2243065M>.

MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The significance of *Bacillus* spp. in disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. **Microorganisms**, v. 8, art. 1037, 2020.

NAKHLEH, J.; EL MOUSSAWI, L.; OSTA, M. A. The melanization response in insect immunity. **Advances in Insect Physiology**, v. 52, p. 83-109, 2017.

NEWMAN, M. A. *et al.* MAMP (microbe-associated molecular pattern)-triggered immunity in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, art. 139, 2013.

NGALIMAT, M.S. *et al.* A review on the biotechnological applications of the operational group *Bacillus amyloliquefaciens*. *Microorganisms*, v. 9, n. 3, p. 614, 2021.

ORTIZ-URQUIZA, A. The split personality of *Beauveria bassiana*: understanding the molecular basis of fungal parasitism and mutualism. *Msystems*, v. 6, n. 4, p.10-1128, 2021.

PEREIRA, M.A.; NETO, O.C. REVISÃO SOBRE O USO DO TRICHODERMA NA AGRICULTURA. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 3, n. 3, 2024. dDisponível em: <https://doi.org/10.61164/rnm.v3i3.2193>. Acesso em: 29 out. 2025.

POMELLA, A.W.V.; RIBEIRO, R.T.S. Controle biológico com *Trichoderma* em grandes culturas – uma visão empresarial. *In*: Bettiol, W. e Morandi, M.A.B. (Ed.). *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 238-244.

QAYYUM, M.A. *et al.* Entomopathogenic Fungi: Prospects and Challenges. *Entomopathogenic Fungi: Prospects and Challenges*, p. 57-79, 2024.

RANESI, M. *et al.* Field isolates of *Beauveria bassiana* exhibit biological heterogeneity in multitrophic interactions of agricultural importance. *Microbiological Research*, v. 286, p. 127819, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127819>

RESENDE, M.L. *et al.* Inoculações de sementes de milho utilizando o *Trichoderma harzianum* como promotor de crescimento. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, n.4, p.793-798, 2004.

RODRIGUES DE ARAÚJO, T. E. *et al.* Performance of *Bacillus amyloliquefaciens* in Agriculture: Systematic Literature Review. *Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 19, n. 7, 2025.

ROMEIRO, R.S.; GARCIA, F.A.O. Controle biológico de enfermidades de plantas incitadas por bactérias. *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, v. 11, n. 1, p. 195-228, 2003.

ROSALES-CASTILLO, R. *et al.* Bio-inputs: An Alternative to Achieve Sustainable Agriculture. *Revista Terra Latinoamericana*, 43. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2045>

SAIYAM, D. *et al.* Lipopeptides from *Bacillus*: Unveiling biotechnological prospects—Sources, properties, and diverse applications. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 55, n. 1, 281-295, 2024.

SHARMA, A. *et al.* Insecticidal potential of *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* individually and their synergistic effect with barazide against *Spodoptera litura*. *Heliyon*, v. 10, n. 17, p. e37175, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37175>.

SOSNOWSKI, J.; TRUBA, M.; VASILEVA, V. The impact of auxin and cytokinin on the growth and development of selected crops. **Agriculture**, v. 13, n. 3, art. 724, 2023.

SOUZA, T. C.; DE OLIVEIRA, A. G.; DE SOUSA, L. A.; DE MELO, W. J. Effect of *Trichoderma harzianum* on the growth and nutrition of maize plants grown in soil with different pH levels. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 4, p. 1011-1022, 2019.

STEFFEN, G. P. K. *et al.* *Trichoderma* controla fitonematoides e aumenta produtividade da soja. **Campos & Negócios**, 2018. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/trichoderma-controla-fitonematoides-e-aumenta-produtividade-da-soja/>. Acesso em: 29 out. 2025.

TORRES, M. J. *et al.* Antagonistic effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens* against *Macrophomina phaseolina*: SEM study of fungal changes and UV-MALDI-TOF MS analysis of their bioactive compounds. **Microbiological Research**, v. 182, p. 31-39, 2016.

TSOTETSI, T. *et al.* *Bacillus* for plant growth promotion and stress resilience: what have we learned? **Plants**, v. 11, n. 19, art. 2482, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11192482>.

VIDAL, M. C. *et al.* Bioinsumos: a construção de um programa nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. In: GINDRI, D. M.; MOREIRA, P. A. B.; VERISSIMO, M. A. A. (org.). **Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável**. 1. ed. Florianópolis: CIDASC, 2020. p. 382-409.

VINALE, F.; SIVASITHAMPARAM, K.; GHISALBERTI, E. L.; MARRA, R.; WOO, S. L.; LORITO, M. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2008.

WANG, Q. *et al.* *Bacillus amyloliquefaciens* GB03 augmented tall fescue growth by regulating phytohormone and nutrient homeostasis under nitrogen deficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, art. 979883, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.979883>.

WANG, S. *et al.* Biocontrol ability of the *Bacillus amyloliquefaciens* group, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. nakamurai* and *B. siamensis*, for the management of fungal postharvest diseases: a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 70, n. 22, p. 6591-6616, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01745>.

WANG, T. *et al.* New amicoumacin antibiotics from *Bacillus subtilis* PJS using MS/MS-based molecular networking. **Molecules**, v. 25, art. 4446, 2020.

WU, J. Y. *et al.* Kinetic analysis on precursors for iturin A production from *Bacillus amyloliquefaciens* BPD1. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 126, n. 5, p. 630-635, 2018.

YANG, L. *et al.* *In vitro* antifungal activity and mechanism of action of carvacrol against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Plant Protection Science**, v. 60, n. 2, p. 172-180, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17221/121/2023-PPS>.

ZHAI, D. *et al.* Fungal warriors: effects of *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* on CCYV-carrying whiteflies. **Biomolecules**, v. 15, n. 4, art. 593, 2025.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Francisco Jorge Carlos Souza Junior

Doutorando em Fitopatologia (UFRPE), possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (2016) e mestrado em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2017).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3478329578286004>

Mayara Castro Assunção

Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Alagoas (2014), bolsista CNPq de Iniciação Científica e estagiária da Embrapa Tabuleiros Costeiros/UEP Rio Largo, desenvolvendo trabalhos na área de Fitopatologia/Nematologia. Mestre em Proteção de Plantas (2016) pelo PPGPP-UFAL, foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) de pós-graduação, com dissertação na área de Nematologia. Doutora em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo PPGF-UFRPE, foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de pós-graduação, atuando na área de Nematologia. Foi professora substituta da Universidade Federal do Oeste da Bahia, ministrando disciplinas para o curso de Agronomia e Medicina Veterinária.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1471897399731360>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agricultura Familiar: 9, 14, 23

Aspectos Morfofisiológicos: 26

D

Defensivos Agrícolas: 49

H

Helianthus Annus L: 26, 27

I

Insumos Biológicos: 49, 50, 61

P

Políticas Públicas Rurais: 9

Produtividade Agrícola: 9, 50

Produtos Orgânicos: 49

S

Silício: 25, 26, 28, 32, 33, 34, 35, 41, 42, 44, 45, 46, 47

Sustentabilidade Produtiva: 9



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

