

Eventos Técnicos & Científicos

2

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Julho, 2026

Anais

XXII Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Milho e Sorgo

PIBIC/CNPq

28 e 29 de agosto de 2024
Sete Lagoas, MG



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura e Pecuária***

Eventos Técnicos & Científicos

2

Julho, 2026

Anais

XXII Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Milho e Sorgo

PIBIC/CNPq

28 e 29 de agosto de 2024

Sete Lagoas, MG

***Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2026***

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG - 424, Km 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
www.embrapa.br/milho-e-sorgo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Cyntia Maria Borges Damasceno
Secretário-executivo
Jose Heitor Vasconcellos
Membros
Guilherme Ferreira Viana
Rosângela Lacerda de Castro
Arystides Resende Silva
Ciro Augusto de Souza Magalhães
Cláudia Teixeira Guimarães
Enilda Alves Coelho

Edição executiva
Rosângela Lacerda de Castro
Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros
Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro
(CRB-6/2749)
Projeto gráfico e diagramação
Tamires Souza Coutinho
Foto da capa
Magnific

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Milho e Sorgo (22. : 2024 : Sete Lagoas, MG).

Anais [do] XXII Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Milho e Sorgo:
PIBIC/CNPq, 28 e 29 de agosto de 2024. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2026.

PDF (106 p.) – (Eventos Técnicos & Científicos / Embrapa Milho e Sorgo, e-ISSN 0000-
0000 ; 2).

1. Iniciação científica. 2. Pesquisa científica. 3. Comunicação científica. 4. Evento.
I. Título. II. Série.

CDD (21. ed.) 633.15

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

© 2026 Embrapa

Comissão organizadora

Coordenação

Christianne Cardoso Macieira de Souza Lima
Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Comissão técnico-científica

Arystides Resende Silva
Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Claudia Teixeira Guimarães
Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Luciano Viana Cota
Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Apresentação

Esta publicação reúne os resumos expandidos apresentados no XXII Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Milho e Sorgo (PIBIC/CNPq), realizado em Sete Lagoas, MG, nos dias 28 e 29 de agosto de 2024. Com periodicidade anual, o evento cumpre o papel estratégico de incentivar estudantes do ensino superior a ingressar na pesquisa científica. Por meio da parceria consolidada entre a Embrapa e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) atua como um catalisador para o desenvolvimento e a difusão de soluções tecnológicas aplicadas à agropecuária.

A diversidade temática e o rigor metodológico das pesquisas aqui publicadas refletem não apenas o excelente engajamento dos bolsistas, mas também reafirmam o compromisso institucional mútuo com a geração de conhecimento de vanguarda e inovação tecnológica de impacto prático no campo. Mais do que apoiar financeiramente, o PIBIC desempenha uma função indispensável na formação da próxima geração de cientistas. Ao vivenciar a rotina de um centro de excelência, o estudante vivencia todas as etapas do método científico, desde o planejamento experimental e a condução de ensaios até o tratamento estatístico e a publicação dos resultados. Essa imersão prática é essencial para consolidar habilidades técnicas e éticas que balizarão uma trajetória profissional de excelência.

Expressamos nossos sinceros agradecimentos e reconhecimento a todos que viabilizaram a realização deste evento e a edição deste documento: estudantes, pesquisadores-orientadores, comissões de avaliação técnica, equipes de suporte de laboratório e campo, e membros da comissão organizadora. O sucesso desta edição reflete o esforço coletivo e a sinergia de toda a nossa comunidade acadêmica e científica.

Vinícius Pereira Guimarães
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Isolamento e caracterização de estirpes de <i>Bacillus</i> e <i>Priestia</i> tolerantes a estresse hídrico e salino	7
Doses, fontes e formas de aplicação de fósforo associado com inoculante solubilizador no milho.....	15
Desempenho forrageiro de genótipos de milheto cultivados na safra 2023 em Sete Lagoas, Minas Gerais	21
Prospecção de actinobactérias com potencial ação bioherbicida	28
Atividade enzimática em solo cultivado com milho silagem: efeitos do consórcio com braquiária e tratamentos de adubação nitrogenada	33
Produtividade, adaptabilidade e estabilidade produtiva de cultivares de milho de menor custo de sementes.....	38
Suscetibilidade de genótipos de sorgo granífero à infestação por <i>Sitophilus zeamais</i> durante o armazenamento	44
Seleção e avaliação de microrganismos antagonistas a <i>Macrophomina phaseolina</i> em milho.....	52
Caracterização da resposta de híbridos de milho a inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas sob condição controlada.....	58
Aumento da tolerância ao alumínio em linhagens de sorgo introgridas com o gene <i>SbMATE</i>	64
Otimização do processo de criação da lagarta-do-cartucho (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	69
Caracterização de genótipos de sorgo e estudo de herança da resistência ao pulgão do sorgo (<i>Melanaphis sorghi</i>).....	76
Influência do gene <i>SbEPI1</i> na expressão do gene <i>SbMATE</i> e na tolerância ao alumínio em sorgo	82
Avaliação da pastagem em sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico	88
Produção de silagem no Sistema Antecipe em Sete Lagoas, região Central de Minas Gerais - Safra 2023/2024	94
Caracterização fitossociológica de plantas daninhas em sistemas de produção com diferentes estratégias de manejo químico	100

Isolamento e caracterização de estirpes de *Bacillus* e *Priestia* tolerantes a estresse hídrico e salino

Jéssica Marques Dionísio⁽¹⁾, Isabella de Cássia Baldoni⁽²⁾, Chainheny Gomes de Carvalho⁽³⁾, Ubiraci Gomes de Paula Lana⁽⁴⁾, Ariana Elisei Vilela⁽⁵⁾, Sílvia Moraes de Sousa Tinoco⁽⁶⁾, Christiane Abreu de Oliveira Paiva⁽⁶⁾ e Eliane Aparecida Gomes⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Estudante de graduação, Faculdade Ciências da Vida, bolsista Pibic/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁽²⁾ Bolsista CNPq. ⁽³⁾ Bolsista DTI B do Convênio Embrapa/CNPq. ⁽⁴⁾ Analista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾ Bolsista CNPq. ⁽⁶⁾ Pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – Este estudo investigou o potencial biotecnológico de bactérias isoladas de diferentes ecossistemas brasileiros diante do estresse hídrico e da salinidade. A partir de amostras de solo da coleção da Embrapa Milho e Sorgo, 805 cepas bacterianas foram isoladas e selecionadas com base em suas características morfológicas distintas. Testes em meios de cultura contendo altas concentrações de NaCl (10%) e sorbitol (520 g/L) revelaram a existência de 205 cepas capazes de se adaptar a condições adversas. Ampliando as concentrações para 15% e 20% de NaCl e 780g/L de sorbitol, 34 cepas promissoras foram identificadas. Destacam-se espécies como *Priestia megaterium* e *P. aryabhattai*, com distribuição geográfica abrangente, além de outras como *Lysinibacillus agricola* e *Bacillus xiamensis*. Esses resultados indicam adaptações significativas dessas bactérias a condições extremas, sugerindo um potencial aplicativo na agricultura. Testes complementares, incluindo a avaliação da produção de biofilme e da solubilização de fosfato, serão conduzidos para identificar microrganismos eficazes. A continuidade desses estudos em ambientes controlados visa validar os resultados obtidos e desenvolver estratégias de manejo agrícola mais eficientes. Este estudo não apenas contribui para a compreensão da microbiota do solo brasileiro, mas também avança no desenvolvimento de insumos biológicos aplicáveis a cultivares suscetíveis ao estresse hídrico e à salinidade elevada.

Termos para indexação: bactéria, crescimento vegetal, estresse hídrico, salinidade, agricultura sustentável, insumo biológico, microbiota do solo.

Isolation and characterization of *Bacillus* and *Priestia* strains tolerant to water and salt stress

Abstract – This study investigated the biotechnological potential of bacteria isolated from different Brazilian ecosystems in the face of water stress and salinity. From soil samples from the Embrapa Maize and Sorghum collection, 805 bacterial strains were isolated and selected based on their distinct morphological characteristics. Tests in culture media containing high concentrations of NaCl (10%) and sorbitol (520 g/L) revealed the existence of 205 strains capable of adapting to adverse conditions. By increasing the concentrations to 15% and 20% NaCl and 780g/L sorbitol, 34 promising strains were identified. Species such as *Priestia megaterium* and *P. aryabhattai*, with a wide geographic distribution, stand out, in addition to others such as *Lysinibacillus agricola* and *Bacillus xiamensis*. These results indicate significant adaptations of these bacteria to extreme conditions, suggesting a potential application in agriculture. Additional tests, including evaluation of biofilm production and phosphate solubilization, will be conducted to identify effective microorganisms. The continuation of these studies in controlled environments aims to validate the results obtained and develop more efficient agricultural management strategies. This study not only contributes to the understanding of

the Brazilian soil microbiota, but also advances the development of biological inputs applicable to cultivars susceptible to water stress and high salinity.

Index terms: bacteria, plant growth, drought stress, salinity, sustainable agriculture, biological inputs, soil microbiota.

Introdução

A escassez hídrica é comumente classificada em duas categorias: escassez física, que ocorre quando a falta de água é determinada pelas condições ecológicas locais, e escassez econômica, que se manifesta em razão da infraestrutura hídrica inadequada (Gomes, 2019).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), em 2021, aproximadamente 3,2 bilhões de pessoas em todo o mundo habitavam áreas agrícolas com níveis de escassez de água variando de alta a muito alta (FAO, 2024). Dentre essas pessoas, cerca de 1,2 bilhão, equivalente a aproximadamente um sexto da população global, enfrentava severas restrições hídricas em suas regiões agrícolas.

No contexto brasileiro, a seca é um fenômeno recorrente e característico, especialmente nas regiões semiáridas e áridas (Meneses et al., 2006). Essas áreas apresentam temperaturas elevadas, chuvas escassas e desigualmente distribuídas, e longos períodos de estiagem, que impactam negativamente as culturas agrícolas. Esses fatores reduzem a produtividade das plantas por causa de desequilíbrios fisiológicos, nutricionais e hormonais, limitando o potencial produtivo delas (Santos; Carlesso, 1998).

A salinidade do solo e o déficit hídrico estão entre os principais fatores de estresse para as plantas, podendo limitar o crescimento e a produção (Ahmad; Sharma, 2008). Diante deste cenário, torna-se imprescindível buscar soluções que possam mitigar os efeitos adversos da seca nas culturas agrícolas. Entre as opções viáveis, destacam-se o uso de insumos biológicos baseados em microrganismos benéficos, tais como as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) (Andrade et al., 2019; Silva et al., 2020). As BPCPs oferecem uma abordagem sustentável para a agricultura, destacando-se pela redução do uso de produtos químicos e fertilizantes sintéticos. Esses microrganismos desempenham um papel crucial ao liberar substâncias como hormônios de crescimento, enzimas e metabólitos, que estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Miransari, 2013). A interação entre as BPCPs e as plantas envolve processos complexos, incluindo a colonização das raízes pelas bactérias e a ativação de rotas metabólicas específicas. Além de promover a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, as BPCPs secretam enzimas que solubilizam nutrientes insolúveis, como o fósforo (P), tornando-os mais acessíveis (Fracasso et al., 2020). Além disso, esses microrganismos desempenham um papel importante no controle de patógenos do solo, estimulando a formação de agregados e melhorando a estrutura do solo para favorecer a infiltração de água e aeração das raízes. Portanto, ao contribuir para a redução da compactação do solo, as BPCPs desempenham um papel crucial na conservação dos recursos naturais e na preservação do meio ambiente (Scarsanella, 2022).

Partindo do entendimento de que a microbiota presente no solo desempenha um papel fundamental na absorção de nutrientes e na mitigação dos efeitos do estresse hídrico e salino nas plantas, a identificação e seleção de microrganismos com essas características surgem como uma

fonte promissora de insumos biológicos. Esse cenário tem despertado um interesse crescente na comunidade agrícola, dado o potencial desses microrganismos em promover o crescimento saudável das plantas e em minimizar os efeitos de condições adversas.

Dentro desse contexto, este estudo tem como objetivo principal avaliar *in vitro* o potencial biotecnológico e agrônomo de microrganismos provenientes do solo de diversos ecossistemas brasileiros. A ênfase da pesquisa recai sobre a resposta desses microrganismos ao estresse hídrico e à alta salinidade, buscando contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e cultivo de plantas.

Este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 do Brasil das Nações Unidas: Fome zero e agricultura sustentável: Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável, mais especificamente para com a meta 2.4:

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Neste sentido, a ênfase da pesquisa recai sobre a resposta de microrganismos ao estresse hídrico e à alta salinidade, buscando contribuir para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo e cultivo de plantas mais resilientes frente às mudanças climáticas.

Material e métodos

As amostras de solo utilizadas estão armazenadas na soloteca da Embrapa Milho e Sorgo e foram coletadas em diversas regiões geográficas do Brasil.

O isolamento dos microrganismos teve início com a pesagem de 0,5 g solo, seguida da adição de 2,5 mL de solução salina (NaCl 0,85%) e agitação constante por 24 horas para assegurar a dispersão dos microrganismos presentes no solo. Após um período de repouso de 30 minutos para a sedimentação de resíduos sólidos, uma alíquota de 500 µL foi retirada e transferida para tubos estéreis, os quais foram submetidos a um choque térmico em banho-maria a 65 °C por 30 minutos. Em seguida, foram resfriadas em gelo por 5 minutos.

Posteriormente, uma alíquota de 50 µL de cada amostra foi distribuída e espalhada em placas de Petri contendo meio Luria Bertani (LB) sólido e as placas foram incubadas a 45 °C por 24 horas. Ao final desse período, as colônias formadas foram avaliadas quanto às suas características morfo-fisiológicas, incluindo tamanho, forma e cor.

As colônias selecionadas foram repicadas em meio LB líquido e incubadas a 28 °C por 24 horas sob agitação constante. Após este período, as bactérias foram cultivadas a 28 °C por 24 horas em meios LB sólidos com diferentes concentrações de NaCl (6%, 8% e 10%) e sorbitol (405 g/L e 520 g/L) para simular condições de alta salinidade e estresse hídrico. Ao final deste período, as bactérias que cresceram nestas condições foram criopreservadas em glicerol 50% v/v e armazenadas no ultrafreezer a -80 °C.

Para avaliar a diversidade genética, um grupo de bactérias que cresceram em altas concentrações de NaCl e de sorbitol foi selecionado para extração de DNA utilizando o kit "Wizard Genomic DNA

Purification” (Promega, EUA). A análise da diversidade genética foi realizada utilizando o marcador ERIC (Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus) e os primers ERIC 1R e ERIC F. As amostras de DNA foram analisadas por eletroforese em gel de agarose. Com base no padrão de similaridade dos fragmentos de DNA entre as amostras, foram selecionadas aquelas que apresentavam diferenças e, em seguida, sequenciadas utilizando primers específicos 8F (5'- AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') (Turner et al., 1999) e 1492R (5'- TACGYTACCTTGTTACGACT-3') (Lane, 1991). As sequências foram comparadas com o banco de dados GenBank utilizando a ferramenta BLASTN “Basic Local Alignment Search Tools” para análise de similaridade de nucleotídeos (Altschul et al., 1997).

Após a observação de uma proporção significativa de bactérias que proliferaram nas concentrações especificadas e um alto número de cepas do mesmo gênero/espécie, deliberou-se ampliar tais concentrações. Foram selecionadas todas as cepas bacterianas que cresceram em altas concentrações de meio LB sólidos contendo NaCl a 10%, quanto em meio com sorbitol 520 g/L para serem avaliadas nas concentrações de NaCl a 15% e 20%, assim como sorbitol a 780 g/L.

Resultados e discussão

Com base nas amostras de solo catalogadas na coleção da Embrapa Milho e Sorgo, um total de 805 bactérias morfologicamente distintas foi isolado. Essas bactérias foram selecionadas seguindo critérios, que incluem diferenças em sua coloração, forma e tamanho das colônias.

Após o cultivo em meios contendo altas concentrações de NaCl (10%) ou sorbitol (520 g/L), um total de 205 bactérias foram selecionadas. Essas cepas foram identificadas por sua capacidade de crescer em condições de estresse osmótico ou salinidade elevada, demonstrando adaptações significativas a ambientes adversos. A seleção incluiu tanto bactérias que cresceram em uma única concentração quanto aquelas que foram capazes de prosperar em ambas as condições, indicando a resistência desses microrganismos às variações ambientais.

Visando aprimorar a seleção de cepas bacterianas com capacidade de mitigar os efeitos adversos do estresse hídrico e da salinidade, optou-se por aumentar as concentrações de NaCl e sorbitol. As novas concentrações empregadas foram de 15% e 20% para NaCl, juntamente com 780 g/L para sorbitol, o que levou à seleção de 34 bactérias (Figura 1).

O cultivo das bactérias em condições de alta salinidade (10%, 15%, 20% de NaCl) e estresse osmótico (520 g/L, 780 g/L de sorbitol) revelou uma diversidade notável de espécies, destacando-se *Priestia megaterium* e *P. aryabhattai*. Essas cepas são conhecidas por sua capacidade de formar endósporos, o que lhes confere resistência a condições ambientais adversas, como secas e alta salinidade (Rosa, 2024). A presença dessas espécies em diversos biomas do Brasil, como a Caatinga, a Mata Atlântica e o Cerrado, sugere que elas possuem mecanismos fisiológicos que lhes permitem adaptar-se a diferentes ambientes. Além dessas, *Lysinibacillus agricola*, uma espécie com propriedades promissoras para a promoção do crescimento vegetal (Godoy, 2020), e *Bacillus siamensis*, que possui ampla capacidade de fixar nitrogênio (Celestino, 2019), foram identificadas, reforçando a diversidade microbiana em condições extremas.

Cepas como *B. siamensis* da Amazônia e *Priestia sp.* do Cerrado indicam uma possível adaptação evolutiva a nichos ecológicos variados. Isso tem implicações práticas significativas para a agricultura, especialmente em áreas sujeitas a condições ambientais adversas, onde essas cepas podem

ser exploradas como biofertilizantes ou agentes de biocontrole. Seu uso pode promover práticas agrícolas mais sustentáveis em face das mudanças climáticas e da salinização dos solos (Tabela 1).

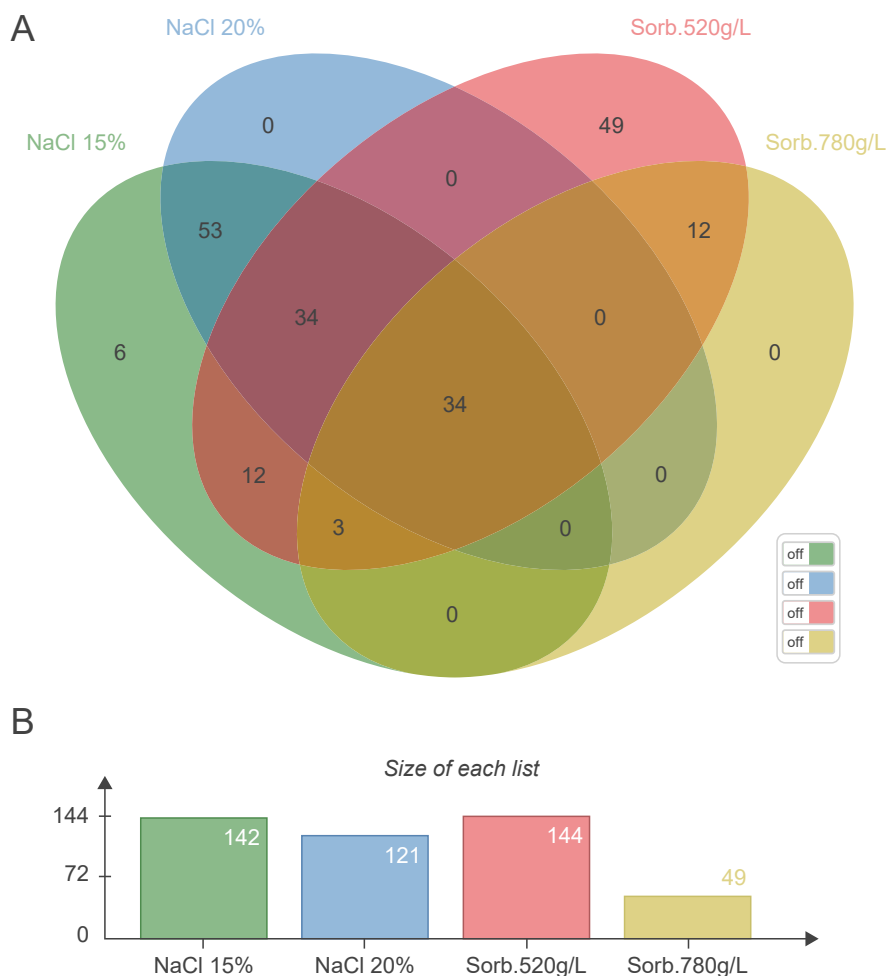


Figura 1. Representação do número de bactérias que apresentaram crescimento em elevadas concentrações de NaCl e sorbitol. (A) Diagrama de Venn e (B) Gráfico mostrando o número de bactérias (eixo Y) que cresceu em cada concentração de NaCl e de sorbitol (eixo X).

Este estudo identificou uma variedade de bactérias com alta tolerância a estresse hídrico e salinidade, incluindo *Priestia megaterium*, *P. aryabhattai*, *Lysinibacillus agricola* e *Bacillus siamensis*. A presença dessas cepas em diferentes biomas brasileiros sugere uma capacidade de adaptação a variados nichos ecológicos, conforme indicado por estudos anteriores sobre suas adaptações a condições adversas. Esses resultados evidenciam o potencial dessas bactérias para o desenvolvimento de biofertilizantes.

Para avançar na aplicação prática dessas cepas, futuras pesquisas devem focar na avaliação da formação de biofilme e da solubilização de fosfatos, processos relevantes para promover o crescimento das plantas e melhorar a tolerância das culturas a estresses ambientais. Além disso, é necessário realizar experimentos em condições que simulem o ambiente agrícola real para validar a eficácia das cepas identificadas. Esses esforços contribuirão para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficazes e sustentáveis, abordando desafios como a salinização dos solos e as mudanças climáticas.

Tabela 1. Genótipos e cultivares de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*; *Arachis repens*) avaliados para tolerância a herbicidas em Sete Lagoas, MG.

Isolado	Gênero/ espécie	Bioma/Local
3.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Caatinga – CE
6.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Mombaça – CE
10.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Piquet Carneiro – CE
11.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Arneiroz – CE
17.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Pirangi – CE
17.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Pirangi – CE
19.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Aceguá – RS
23.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Rio Verde – GO
23.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Rio Verde – GO
24.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Rio Verde – GO
24.2	<i>Priestia megaterium</i>	Rio Verde – GO
31.1	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Ipiaçu – MG
46.1	<i>Priestia megaterium</i>	Cedro – CE
56.1	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
60.1	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
60.2	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
125.2	<i>Priestia megaterium</i>	Santa Quitéria – CE
140.1	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
225.1	<i>Priestia megaterium</i>	Mata Atlântica
240.2	<i>Lysinibacillus agricola</i>	Aceguá – RS
288.2	<i>Bacillus siamensis</i>	Amazônia
294.1	<i>Priestia megaterium</i>	Amazônia
322.2	<i>Priestia sp./Bacillus sp.</i>	Cerrado
322.4	<i>Priestia megaterium</i>	Cerrado
338.2	<i>Priestia megaterium</i> ou <i>P. aryabhatai</i>	Caatinga – CE
353.3	<i>Bacillus weizmannii</i>	Caatinga – CE
354.1	<i>Bacillus sp./Priestia sp.</i>	Caatinga – CE
363.3	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
392.2	<i>Priestia megaterium</i>	Cerrado
394.1	<i>Priestia megaterium</i>	Cerrado
394.2	<i>Priestia megaterium</i>	Cerrado
405.2	<i>Priestia megaterium</i>	Caatinga – CE
411.3	<i>Priestia megaterium</i>	Goiânia – GO
413.2	<i>Priestia sp.</i>	Sete Lagoas – MG

Agradecimentos

A Embrapa Milho e Sorgo, CNPq, Fapemig.

Referências

- AHMAD, P.; SHARMA, S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 89-99, 2008. DOI: <https://doi.org/10.17221/2774-PSE>.
- ALTSCHUL, S. F.; MADDEN, T. L.; SCHÄFFER, A. A.; ZHANG, J.; ZHANG, Z.; MILLER, W.; LIPMAN, D. J. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. **Nucleic Acids Research**, v. 25, n. 17, p. 3389-3402, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/25.17.3389>.
- ANDRADE, F. M.; PEREIRA T. de A.; SOUZA, T. P.; GUIMARÃES, P. H. S.; MARTINS, A. D.; SCHWAN, R. F.; PASQUAL, M.; DÓRIA, J. Beneficial effects of inoculation of growth-promoting bacteria in strawberry. **Microbiological Research**, v. 223, p. 120-128, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.04.005>.
- CELESTINO, E. L. F. G. **Bactérias promotoras de crescimento isoladas da caatinga alagoana**. 2019. 91 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- FAO. **Water**. Disponível em: <http://www.fao.org/water/en/>. Acesso em: 3 maio 2024.
- FRACASSO, A.; TELÒ, L.; LANFRANCO, L.; BONFANTE, P.; AMADUCCI, S. Physiological beneficial effect of Rhizophagus intraradices inoculation on tomato plant yield under water deficit conditions. **Agronomy**, v. 10, n. 1, article 71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10010071>.
- GODOY, F. de A. **Identificação de bactérias promotoras de crescimento de trigo e seu impacto na comunidade bacteriana da rizosfera**. 2020. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2020.tde-18052020-141913>.
- GOMES, V. P. Desordenação do território e poluição hídrica no pólo industrial de Manaus: paradoxo da escassez na abundância. In: BRAVO, A. S. (ed.). **Ordenación del territorio y medio ambiente**. Sevilla: ArCiBel, 2009. p. 233-265.
- LANE, D. J. 16S/23S rRNA sequencing. In: STACKEBRANDT, E.; GOODFELLOW, M. (ed.). **Nucleic acids techniques in bacterial systematics**. Chichester: John Wiley, 1991. p. 115-148.
- MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. de M.; LIMA, M. M. de A.; VIDAL, M. S. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n.2, p. 1039-1072, 2006.
- MIRANSARI, M. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3075-3084, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1338-2>.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.
- ROSA, M. S. **Esporulação da rizobactéria promotora de crescimento vegetal *Bacillus thuringiensis* RZ2MS9: aspectos biológicos, bases moleculares e o seu papel na interação com o milho**. 2024. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p287-294>.
- SCARSANELLA, J. D. A. **Microrganismos promotores do crescimento vegetal em *Paspalum notatum* Flüggé cultivado em solo construído para reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. 2022. 66 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. D.; LANNA, A. C.; SILVA, G. B. D.; SILVA, J. F. A. E. Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas exchange and nutrient content in soybean plants. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 619-632, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n305rc>.

TURNER, S.; PRYER, K. M.; MIAO, V. P. W.; PALMER, J. D. Investigating deep phylogenetic relationships among cyanobacteria and plastids by small subunit rRNA sequence analysis. **Journal of Eukaryotic Microbiology**, v. 46, n. 4, p. 327-338, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1999.tb04612.x>.

Doses, fontes e formas de aplicação de fósforo associado com inoculante solubilizador no milho⁽¹⁾

Gabriel Silva Eduardo⁽²⁾, Christiane Abreu de Oliveira Paiva⁽³⁾, Daniel Bini⁽⁴⁾ e Flávia Cristina dos Santos⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq e pelo Projeto Trijunção. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista PIBIC/CNPq. ⁽³⁾ Pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Bolsista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – O Brasil apresenta destaque em área plantada e na produção de grãos, como o milho. Entretanto, os solos brasileiros são originalmente pobres em nutrientes, com ênfase no fósforo (P), sendo este de grande importância para as culturas por desempenhar papel crucial no metabolismo e no desenvolvimento radicular. Para maior aproveitamento da adubação fosfatada e maior sustentabilidade, a Embrapa Milho e Sorgo tem como uma de suas linhas de pesquisa a seleção de microrganismos solubilizadores de fosfato, culminando no lançamento do BiomaPhos. Assim, torna-se importante avançar no conhecimento do uso deste inoculante com diferentes doses, fontes e formas de aplicação de fertilizante fosfatado. Foi instalado experimento em blocos casualizados, com 32 tratamentos: quatro doses de P_2O_5 (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), duas fontes de P (superfosfato triplo - ST e fosfato de rocha reativo da OCP - OCP), com e sem inoculação, e com duas formas de aplicação do BiomaPhos (tratamento de sementes e sulco de semeadura). Foram avaliadas a altura de plantas, produtividade e peso de mil grãos do milho. De maneira geral, o ST, a forma de aplicação no sulco de semeadura e a dose de 120 kg ha⁻¹ de P_2O_5 resultaram em maiores altura de plantas, produtividade e peso de 1.000 grãos. O efeito da inoculação não foi consistente e merece ser melhor investigado, por causa do alto coeficiente de variação da produtividade e de problemas com a irrigação na área.

Termos para indexação: adubação fosfatada, solubilizador de P, manejo da adubação.

Doses, sources, and application methods of phosphorus combined with solubilizing inoculant in corn

Abstract – Brazil is one of the world's leading producers of grains, such as corn. However, Brazilian soils are originally poor in nutrients, with an emphasis on phosphorus (P), which is of great importance to crops as it plays a crucial role in energy metabolism and root development. In order to make better use of phosphate fertilization and increase sustainability, the use of a P-solubilizing biological inoculant is an option; however, it is important to advance knowledge of the use of this bio-input with different doses, sources and forms of phosphate fertilizer application on maize productivity. Therefore, a randomized block experiment was set up with 32 treatments: four doses of P_2O_5 (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹), two sources of P (triple superphosphate - ST and OCP reactive rock phosphate - OCP), with and without inoculation, and two ways of applying inoculant (seed treatment and furrow). Plant height, yield and thousand-grain weight of the corn were evaluated. In general, ST, the form of application in the furrow and the dose of 120 kg ha⁻¹ of P_2O_5 resulted in greater plant height, productivity and 1.000 grain weight. The effect of inoculation was not consistent and deserves further investigation, due to the high coefficient of variation in yield and problems with irrigation in the area.

Index terms: phosphate fertilization, P solubilizer, fertilizer management.

Introdução

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de alimento, dada a sua grande extensão territorial e de terras agricultáveis, favorecido por condições climáticas adequadas. Entretanto, o País ainda enfrenta problemas a serem superados, pois em média, importa 95% dos fertilizantes potássicos, 80% dos nitrogenados e 60% dos fosfatado (Lennon, 2023).

Entre os principais nutrientes demandados pelas culturas, o fósforo (P) é um elemento vital para o desenvolvimento das plantas, embora seja, frequentemente, escasso no solo, especialmente em regiões de solos tropicais muito intemperizados, como no Brasil. Nesse sentido, sua disponibilidade limitada pode resultar em atrasos no crescimento e interferir em processos essenciais como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular e crescimento das células vegetais. Na cultura do milho, o fósforo desempenha papel crucial no metabolismo energético, com menor demanda nas etapas iniciais do seu desenvolvimento e, posteriormente, passando por períodos de extrema exigência até o florescimento, alcançando sua exigência máxima quando se inicia o enchimento dos grãos.

A Embrapa Milho e Sorgo realiza pesquisas há anos com o manejo deste nutriente e, mais recentemente, agregando o uso de insumos biológicos para maior aproveitamento da adubação fosfatada e maior harmonia com o meio ambiente. Com isso, em 2019, foi lançado o primeiro inoculante para solubilização do P, o BiomaPhos, uma parceria público-privada da Embrapa e a empresa Bioma. Portanto, torna-se importante avançar no conhecimento com o uso deste inoculante para as diversas condições de solo, de doses, fontes e formas de aplicação do fertilizante fosfatado sobre a produtividade da cultura do milho, e este trabalho objetiva verificar o efeito destas variáveis em aspectos produtivos do milho.

Os resultados obtidos alinham-se com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável ODS 2 estabelecido pela ONU (Fome Zero e Agricultura Sustentável), meta 2.4: até o ano de 2030 garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

O experimento foi conduzido em condição de campo na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, MG, sob as coordenadas geográficas de Latitude -19,4558422, e Longitude -44,1791049. O clima da região é do tipo Cwa, clima de savana (com inverno seco e verão chuvoso), segundo a classificação de Köppen. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura muito argilosa, com as características químicas, antes da instalação do experimento, apresentadas na tabela 1, segundo metodologia de Teixeira et al. (2017).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em fatorial 2x4x2x2, sendo os tratamentos: duas fontes de P (Superfosfato triplo - ST e fosfato de rocha reativo da OCP - OCP), quatro doses de P_2O_5 (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), com e sem inoculação, e com duas formas de aplicação do BiomaPhos (tratamento de sementes e sulco de plantio), totalizando 32 tratamentos com quatro repetições.

A semeadura do milho ocorreu em janeiro de 2022 com a cultivar KWS - RB9006 VTPRO 2, com uma população média de 70 mil plantas ha⁻¹. As parcelas experimentais foram compostas de 6 linhas de 5 m de comprimento e com espaçamento entre linhas de 0,5 m, em que 3 linhas foram usadas para aplicação do inoculante no tratamento de sementes e 3 linhas para a aplicação do inoculante no sulco de semeadura. A parcela útil foi composta por duas linhas de 5 m de comprimento eliminando-se uma linha da borda de cada lado da parcela. A dose do inoculante BiomaPhos foi de 150 mL ha⁻¹ quando o tratamento foi aplicado nas sementes e 200 mL ha⁻¹ quando o inoculante foi aplicado no sulco de semeadura.

Foi realizada a calagem dois meses antes do plantio do experimento com aplicação de 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 80%). No plantio foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de 20-00-20 + 50 kg ha⁻¹ de FTE BR12. Aos 25 dias após o plantio foi realizada a adubação de cobertura com 300 kg ha⁻¹ de ureia e 150 kg ha⁻¹ de KCl. Os demais tratos fitossanitários seguiram as recomendações para a cultura do milho.

No estágio de maturação fisiológica foi realizada a avaliação de estande das variáveis: altura de plantas, produtividade de grãos e peso de 1000 grãos de milho.

Os dados foram submetidos à Anova e teste Tukey ($p < 0,05$) para as variáveis qualitativas e modelos lineares de regressão para as doses pelo programa Sisvar v.5.8 (Ferreira, 2019).

Tabela 1. Atributos químicos do Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa, profundidade de 0-20 cm.

PH	PM1	Pres	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T
H ₂ O		mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³			
4,99	3,27	12,12	66,09	1,39	0,30	0,70	6,58	1,84	8,42
V	m	MO	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
%		dag kg ⁻¹				mg dm ⁻³			
21,95	27,52	2,32	7,70	0,09	0,42	26,4	16,42	1,82	

pH (Acidez Ativa); PM1 (Mehlich-1); Pres (Resina); K (Potássio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); Al (Alumínio); H + Al (Acidez Total); SB (Soma de Bases); T (CTC Total); V (Saturação por Bases); m (Saturação por Alumínio); MO (Matéria Orgânica); S (Enxofre); Cu (Cobre); Fe (Ferro); Mn (Manganês); Zn (Zinco).

Resultados e discussão

O peso de 1.000 grãos foi maior quando da utilização do ST (266 g) em relação ao fosfato OCP (252 g) (Tabela 2 e Figura 1A).

A aplicação do inoculante no sulco de semeadura resultou em maior altura e produtividade das plantas (1,76 m e 4.290 kg ha⁻¹) (Tabela 2 e Figuras 1B e C, respectivamente) quando comprada ao tratamento de sementes (1,70 m e 3.267 kg ha⁻¹) (Tabela 2 e Figuras 1B e C, respectivamente).

A aplicação do inoculante no sulco de plantio evita o contato mais direto do inoculante com os produtos químicos do tratamento de semente, embora já se tenham realizado testes para verificação de incompatibilidade do inoculante com os produtos do tratamento de semente e não há problemas neste sentido. Este resultado cabe melhor investigação, uma vez que houve um problema na área com vazamento de água dos canos de irrigação que levaram a um maior umedecimento do solo na área do tratamento no sulco.

Houve efeito da interação tripla FP x DP x INOC sobre a altura e produtividade do milho (Tabela 2).

Tabela 2. Genótipos e cultivares de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*; *Arachis repens*) avaliados para tolerância a herbicidas em Sete Lagoas, MG.

Fontes de Variação	Altura (m)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Peso de 1.000 grãos (g)
FP	***	***	*
DP	**	***	ns
INOC	ns	ns	ns
FA	*	***	ns
FP x DP	***	**	ns
FP x INOC	ns	ns	ns
FP x FA	ns	ns	ns
DP x INOC	ns	ns	ns
DP x FA	ns	ns	ns
INOC x FA	ns	ns	ns
FP x DP x INOC	***	*	ns
FP x INOC x FA	ns	ns	ns
DP x INOC x FA	ns	ns	ns
FP x DP x INOC x FA	ns	ns	ns
CV (%)	9.0	40.70	9.91

FP (Fonte de P₂O₅); DP (Dose de P₂O₅); INOC (Inoculação); FA (Forma de Aplicação); (* p<0,05); (** p<0,01); (***) p<0,001; ns (não significativo) CV% (Coeficientes de Variação).

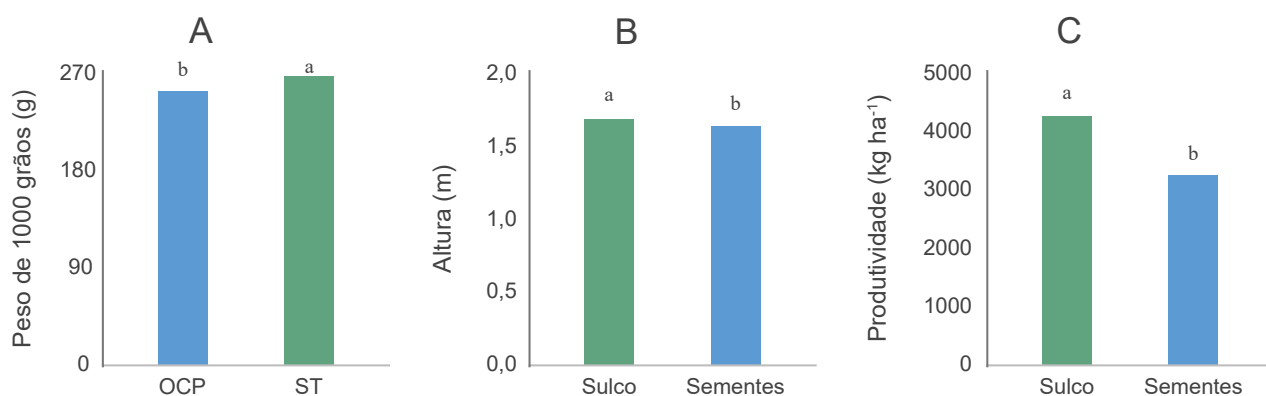


Figura 1. Peso de 1.000 grãos em função das fontes de P (A), altura (B) e produtividade do milho (C) em função das formas de aplicação do inoculante. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No geral, a fonte ST resultou em maior altura de plantas e produtividade do milho, o que já era esperado no primeiro ano de avaliação do experimento, tendo o solo baixo teor de P disponível (cultivo irrigado) e pela maior solubilidade do ST em relação à rocha fosfatada da OCP. Entretanto, é importante continuar esta avaliação por médio a longo prazo, quando a fonte OCP pode oferecer bons resultados pelo seu maior efeito residual, bem como pelo aumento dos teores de P no solo com o tempo, o que permite obter resultados semelhantes entre fontes solúveis e fosfatos naturais reativos (Sousa et al., 2016). Quanto às doses, melhores resultados foram obtidos com aplicação de 120 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dada a condição inicial do solo de baixo P (Tabela 1) e sendo o milho uma cultura exigente.

Quanto à inoculação, houve efeito para a altura de plantas apenas com a fonte ST e nas doses de 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo que na dose 0 a altura foi maior na presença do inoculante e, na de 60, o contrário (Tabela 3). O milho produziu mais grãos na fonte ST e na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ sem o inoculante (Tabela 3). Mas, numericamente, houve uma certa inconsistência no efeito da inoculação para a produtividade do milho, o que pode ter sido favorecido por problemas com o sistema de irrigação, como já comentado, e mesmo pelo alto coeficiente de variação do ensaio (40,70%) (Tabela 2).

Tabela 3. Desdobramento da interação tripla FP x DP x INOC para altura e produtividade das plantas.

FP	DP	INOC	Altura (m)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	FP	Altura (m)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
OCP	0	NI	1,74 ns	3.322 ns	ST	1,57 b	2.672 ns
		I	1,61 ns	2.831 ns		1,73 a	3.224 ns
	60	NI	1,54 ns	2.106 ns		1,92 a	5.430 a
		I	1,64 ns	2.125 ns		1,68 b	3.357 b
	120	NI	1,83 ns	4.331 ns		1,76 ns	4.088 ns
		I	1,70 ns	3.472 ns		1,87 a	5.548 ns
	180	NI	1,55 ns	2.817 ns		1,87 a	5.713 ns
		I	1,64 ns	3.604 ns		1,94 a	5.808 ns

NI = não inoculado, I = inoculado. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de inoculação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Conclusões

Em solo com baixo P, a fonte solúvel ST, a aplicação no sulco de plantio e a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ resultam em maiores altura de plantas, produtividade e peso de 1.000 grãos de milho. A pesquisa deve ser continuada para melhor entendimento do efeito da inoculação, que não foi consistente, bem como para avaliação do efeito residual da fonte fosfato de rocha.

Referências

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

LENNON, S. Mais de 70% dos fertilizantes são importados no Brasil. **Agrolink**, 5 set. 2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/mais-de-70--dos-fertilizantes-sao-importados-no-brasil_483200.html. Acesso em: 5 ago. 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos. **Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. 10 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 33). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1061419/1/CT33.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085209/1/ManualdeMetodosdeAnalisedeSolo2017.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

Desempenho forrageiro de genótipos de milheto cultivados na safra 2023 em Sete Lagoas, Minas Gerais⁽¹⁾

Jamilly Cavanholi Valadares⁽²⁾, Flávio Dessaune Tardin⁽³⁾, Alexandre Martins Abdão dos Passos⁽³⁾, Jane Rodrigues de Assis Machado⁽⁴⁾, Márcia Cristina Teixeira da Silveira⁽³⁾, Cícero Bezerra de Menezes⁽³⁾ e José Ângelo Nogueira de Menezes Júnior⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq, Fapemig e Sulpasto. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq, na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Resumo – O milheto possui alta tolerância à seca, crescimento rápido e elevada produção de biomassa, sendo uma opção de planta forrageira. Neste trabalho buscou avaliar o desempenho de genótipos de milheto em Sete Lagoas e selecionar os mais promissores para produção de forragem. Foi instalado, na safra 2023, em Sete Lagoas, um experimento com 25 genótipos de milheto, no delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas de 5 m de comprimento e espaçadas em 0,5 m. Foram mensuradas altura das plantas, produtividade de massa verde (PMV) e de massa seca (PMS) e umidade da biomassa no momento da colheita, ocorrida 39 dias após a semeadura. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). A ANOVA confirmou diferenças significativas ($P < 0,01$) entre genótipos para todas as características avaliadas, demonstrando existência de variabilidade genética e possibilidade de seleção daqueles com atributos agronômicos mais favoráveis. Os resultados do teste de Scott-Knott, para as quatro características, agruparam os genótipos em dois grupos de médias. Onze genótipos formaram o grupo de maior altura, com média de 1,3 m. O grupo de maior PMV, formado por 17 genótipos, teve $PMV = 40,4 \text{ t ha}^{-1}$ enquanto os menos produtivos tiveram média de $28,6 \text{ t ha}^{-1}$. Quinze genótipos demonstraram maior $PMS = 3,9 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto o segundo grupo produziu $2,6 \text{ t ha}^{-1}$ MS. O genótipo 12 destacou-se por apresentar os maiores valores absolutos para PMV ($48,733 \text{ t ha}^{-1}$) e PMS ($4,580 \text{ t ha}^{-1}$), sendo promissor para produção de forragem.

Termos para indexação: *Pennisetum glaucum*, silagem, forragem, plantio direto.

Forage performance of millet genotypes grown in the 2023 crop season in Sete Lagoas, Minas Gerais

Abstract – Pearl millet has high drought tolerance, fast growth and high biomass production, being an option for forage plant. In this study, we aimed to evaluate the performance of pearl millet genotypes in Sete Lagoas and select the most promising for forage production. An experiment with 25 pearl millet genotypes was installed in the 2023 harvest, in Sete Lagoas, in a randomized block design, with three replications. The experimental plots consisted of four rows of 5 m in length and spaced at 0.5 m. Plant height, green mass productivity (PMV) and dry mass productivity (PMS) and biomass moisture were measured at the time of harvest, which occurred 39 days after sowing. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the means of the genotypes were grouped by the Scott-Knott test ($P < 0.05$). The ANOVA confirmed significant differences ($P < 0.01$) between

genotypes for all characteristics evaluated, demonstrating the existence of genetic variability and the possibility of selecting those with more developed agronomic attributes. The results of the Scott-Knott test, for the four characteristics, grouped the genotypes into two groups of means. Eleven genotypes formed the group with the greatest height, with an average of 1.3 m. The group with the greatest PMV, formed by 17 genotypes, had $PMV = 40.4 \text{ t ha}^{-1}$ while the least productive had an average of 28.6 t ha^{-1} . Fifteen genotypes obtained the greatest $PMS = 3.9 \text{ t ha}^{-1}$, while the second group produced 2.6 t ha^{-1} DM. Genotype 12 stood out for presenting the highest absolute values for PMV ($48,733 \text{ t ha}^{-1}$) and PMS ($4,580 \text{ t ha}^{-1}$), being promising for forage production.

Index terms: *Pennisetum glaucum*, silage, forage, no-tillage.

Introdução

O milheto (*Pennisetum glaucum*) é uma importante pastagem anual de verão. Ele é uma excelente alternativa para cobertura do solo oferecido em sistemas de plantio direto (SPD), bem como para o uso como forrageira para locais e períodos com risco de disponibilidade de água. Além disso, é utilizado para pastejo, produção de silagem e feno (Santos, 1999).

A expansão do milheto como forrageira pode ser atribuída a suas características, como a capacidade de tolerar déficit hídrico, adaptação a solos de baixa fertilidade, crescimento rápido, sistema radicular vigoroso e boa produção de biomassa verde, que pode chegar a 70 t ha^{-1} (Pereira Filho et al., 2003). Além disso, cresce de forma cespitosa e ereta, com ótima capacidade de perfilhamento e vigorosa rebrota após o corte ou pastejo (Pereira Filho; Rodrigues, 2016).

Segundo Durães et al. (2003), o milheto utiliza menos água do que o milho e o sorgo para produzir a mesma quantidade de matéria seca, necessitando de apenas 286 a 306 g de água por grama de matéria seca produzida. Não existem estatísticas oficiais referentes à área semeada com milheto no Brasil em 2023. Contudo, com base no volume de venda de sementes e no crescimento da área sob SPD, estima-se que ela seja de 5 milhões de hectares (Oliveira et al., 2022).

Entretanto, as cultivares utilizadas atualmente são em número reduzido e, na maioria, provenientes de outros países. Para forragem, há demanda por cultivares adaptadas para pastejo, corte verde, silagem e feno, com foco em produtividade, qualidade e capacidade de rebrota (Pereira Filho; Rodrigues, 2016).

Para que uma cultivar seja recomendada, deve não apenas possuir características bem definidas, mas também demonstrar desempenho agrônomo superior em diversos anos e locais para as características de interesse (Oliveira et al., 2002; Tardin et al., 2011), ou seja, demonstrar boa adaptabilidade e estabilidade.

A Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG, realiza pesquisas com o milheto para desenvolver cultivares com desempenho agrônomo superior e adequadas às diferentes regiões e condições de cultivo no Brasil. Atualmente, existem disponíveis no mercado três cultivares comerciais desenvolvidas pela Embrapa, as variedades BRS 1501, BRS 1502 e BRS 1503. O programa de melhoramento tem focado no desenvolvimento e seleção de genótipos de milheto para produção de forragem para pastejo, palhada para cobertura do solo e silagem.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho agrônomo e selecionar genótipos experimentais de milheto desenvolvidos pela Embrapa, passíveis de

futuro lançamento como cultivar comercial forrageira com recomendação de plantio para o estado de Minas Gerais.

Os resultados obtidos demonstram avanços no desenvolvimento de forrageiras mais produtivas e tolerantes à seca, contribuindo para o uso sustentável do solo e dos recursos hídricos. Dessa forma estão alinhados às metas globais estabelecidas pela ONU: 2.4 (produção resiliente), 9.5 (inovação científica), 13.1 (adaptação climática) e 15.3 (combate à degradação do solo) vinculadas, respectivamente, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2, 9, 13 e 15 (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

Vinte e cinco genótipos de milheto do programa de melhoramento de milheto da Embrapa Milho e Sorgo foram avaliados na safra de 2023, no campo experimental da Embrapa, localizado em Sete Lagoas, MG, quanto ao desempenho agrônomo e à produção de forragem. Para tanto, foi realizado um experimento no delineamento em blocos ao acaso com três repetições, em que as parcelas experimentais foram compostas por quatro linhas de 5 metros de comprimento e espaçadas de 50 cm, sendo que apenas as duas linhas centrais foram consideradas como parcela útil. A semeadura foi realizada em 10/11/2023 e os cortes foram realizados nos dias 18/12/2023 (bloco 1), 19/12/2023 (bloco 2) e 20/12/2023 (bloco 3), sendo estes cortes feitos nas plantas a uma altura média de 15 cm da superfície do solo. Para semeadura foram abertos sulcos de plantio com plantadeira-adubadeira tratorizada e as sementes foram colocadas manualmente nestes sulcos a uma profundidade de aproximadamente 3 cm e posteriormente cobertas com terra.

O experimento foi conduzido, em condições de sequeiro. O uso de irrigação foi feito apenas para o estabelecimento do stand inicial um dia após a semeadura. Para evitar a interferência das plantas daninhas, foi feito o controle delas por meio da utilização do herbicida atrazina. O controle de formigas cortadeiras foi feito antes e durante emergência das plantas. O controle de lagartas foi feito com a liberação de inimigos naturais (Joaninha, Tesourinha, Trichogramma). Não foi realizado controle químico de doenças, uma vez que a principal medida de controle é o uso de genótipos resistentes, e a incidência de doença serve como mais um parâmetro para seleção de cultivares.

No dia da colheita (corte das plantas) foram medidos nas parcelas as alturas médias das plantas (ALT), a umidade da biomassa colhida (UMI), a produtividade de matéria verde (PMV) e a produtividade de matéria seca (PMS). Para determinar a PMS e UMI, a biomassa verde foi seca em estufa a 65 °C por 144 horas. Para todas as características avaliadas, foram realizadas as análises de variâncias e, posteriormente, as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Para tanto, foram utilizados os recursos computacionais do Programa Genes (Cruz, 2016).

Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância (Tabela 1) demonstram diferenças significativas entre genótipos ($P < 0,01$) para todas as características avaliadas: altura de plantas, produção de matéria

verde, produção de matéria seca e umidade da biomassa. Isso indica que há variabilidade genética no conjunto de genótipos avaliados.

As médias das características agronômicas dos 25 genótipos estão apresentadas na Tabela 2. Em relação à altura das plantas no momento da colheita, ou seja, após aproximadamente 39 dias após plantio, os genótipos foram divididos em dois grupos de médias, sendo 14 considerados de maior porte, com alturas deste grupo variando de 1,25 a 1,45 m. Dentre estes, encontram-se as testemunhas BRS 1502 e BRS 1503. Os demais genótipos, considerados de menor porte, tiveram médias variando de 0,98 a 1,23 m. Dentre estes, encontra-se a testemunha BRS 1501.

Tabela 1. Resumo da análise de variância das características altura de plantas (ALT), umidade da biomassa (UMI), produção de matéria verde (PMV) e produção de matéria seca (PMS) no momento da colheita, de 25 genótipos de milho cultivados em Sete Lagoas, MG, na safra 2023.

FV	GL	ALT(m)	UMI (%)	PMV (t h ⁻¹)	PMS (t h ⁻¹)
Blocos	2	0,4578	0,4445	771,4985	5,4952
Genótipos	24	0,0428**	1,5947**	140,9667**	1,6457**
Resíduo	48	0,0125	0,3909	42,2526	0,5059
Média		1,25	90,88	36,66	3,36
CV (%)		8,91	0,69	17,73	21,18

**Significativos a 1% de probabilidade pelo teste F.

Pelos resultados observados, confirma-se o rápido desenvolvimento vegetativo da cultura, em que, independentemente do genótipo, todos os aqui avaliados num curto intervalo de tempo (39 dias após o plantio) já estavam com altura superior à recomendada (60 a 70 cm) para início de pastejo. Estes dados corroboram com os de Silveira et al. (2024) que avaliando as cultivares de milho BRS 1501, BRS 1502 e BRS 1503, comparativamente com capim Sudão e sorgo para pastejo, concluíram que as cultivares de milho mostraram maior produção por corte com ciclos de produção mais curtos.

A umidade da biomassa no momento da colheita variou de 8,06 a 10,78%. Esta variável aqui relatada é apresentada no intuito de conhecimento científico, mas não influencia na qualidade da biomassa com foco em consumo in natura no momento do pastejo.

A caracterização da umidade é importante quando se pensa na produção de silagem por influenciar diretamente a qualidade da biomassa a ser conservada. A umidade que uma forrageira possui no momento do corte é fundamental na determinação de uma silagem de qualidade. Esta variável possui ação direta na disponibilidade de água para os microrganismos e na determinação das perdas por efluentes (Muck et al., 2020). Os teores ideais de umidade devem ficar entre 65 e 70%, ou seja, 30 a 35% de matéria seca, segundo Muck e Pitt (1993). Para outros autores, para garantir fermentação adequada, a umidade deve estar entre 60 e 72% (McDonald et al., 1991). Com base nestas pesquisas, deve-se evitar o corte do milho no ponto inicial de pastejo quando o objetivo é ensilagem.

No quesito referente à produtividade de massa verde (PMV) e seca (PMS), características de maior importância comercial, os genótipos foram agrupados em dois grupos de médias (Tabela 2). No caso de seleção, o interesse é pelos materiais que apresentam maiores produtividades, priorizando a produtividade de massa seca.

A média do grupo de maior PMV, formado por 17 genótipos, foi 40,435 t ha⁻¹ enquanto os menos produtivos tiveram média de 28,632 t ha⁻¹. A média do grupo, composto por 15 genótipos, de maior PMS foi 3,857 t ha⁻¹, e do segundo grupo, 2,616 t ha⁻¹. Dentre as testemunhas, apenas o BRS 1503 esteve nos grupos de maior PMV e PMS com produtividades de PMV = 39,667 t ha⁻¹ e 3,662 t ha⁻¹ (Tabela 2). Resultados aqui obtidos para PMV e PMS se assemelham ao encontrados por Mittelman et al. (2006), cuja pesquisa mensuraram a PMS do BRS 1501 em 2,39 t ha⁻¹.

O genótipo experimental 12 destacou-se por apresentar os maiores valores absolutos para PMV (48,733 t ha⁻¹) e PMS (4,580 t ha⁻¹), sendo promissor para produção de forragem. Outros genótipos apresentaram desempenhos estatisticamente semelhantes ao genótipo 12 e merecem atenção (4, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20 e 22).

Tabela 2. Média das características altura de plantas (ALT), produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS) e umidade da biomassa (UMI) no momento da colheita aos 39 dias após plantio de 25 genótipos de milho cultivados na safra 2023 em Sete Lagoas, MG.

Genótipo	Altura (m)	UMI (%)	PMV (t ha ⁻¹)	PMS (t ha ⁻¹)
12	1,42 A	9,26 a	48,733 a	4,58 a
16	1,28 A	9,29 a	47,333 a	4,373 a
7	1,20 B	10,78 a	39,457 a	4,243 a
13	1,50 A	9,43 a	44,4 a	4,189 a
11	1,45 A	10,34 a	37,733 a	3,907 a
14	1,30 A	9,31 a	41,733 a	3,877 a
9	1,35 A	10,00 a	37,867 a	3,821 a
22	1,28 A	8,85 b	42,667 a	3,804 a
17	1,15 B	8,95 b	42 a	3,751 a
19	1,27 A	9,51 a	38,733 a	3,691 a
20	1,27 a	9,65 a	37,6 a	3,654 a
25 (BRS1503)	1,30 a	9,15 a	39,667 a	3,632 a
5	1,32 a	9,27 a	38,533 a	3,581 a
10	1,25 a	9,29 a	37,2 a	3,415 a
4	1,15 b	8,59 b	38,733 a	3,336 a
2	1,23 b	8,07 b	39,8 a	3,203 b
24 (BRS 1502)	1,42 a	9,57 a	32,2 b	3,082 b
6	1,08 b	9,86 a	30,6 b	3,012 b
18	1,23 b	8,06 b	35,2 a	2,824 b
23 (BRS 1501)	1,15b	8,14 b	33,6 b	2,734 b
15	1,30 a	8,12 b	33,4 b	2,715 b
1	1,15 b	9,24 a	27,22 b	2,542 b
3	1,16 b	8,78 b	28,157 b	2,472 b
8	0,98 b	8,09 b	22,857 b	1,815 b
21	1,15 b	8,36 b	21,023 b	1,757 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott P<0,05).

Conclusão

O genótipo experimental 12 destacou-se por apresentar os maiores valores absolutos para PMV (48,733 t ha⁻¹) e PMS (4,580 t ha⁻¹), sendo promissor para produção de forragem. Avaliações complementares, para outras características e em mais locais e anos, são importantes para a continuidade da pesquisa, bem como para a recomendação segura de lançamento de uma cultivar.

Referências

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.32629>.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; SANTOS, F. G. dos. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 28). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/487540/1/Circ28.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

MCDONALD, P.; HENDERSON, N.; HERON, S. **The biochemistry of silage**. 2th ed. Madison: University of Wisconsin 1991. 340 p.

MITTELMANN, A.; CORRÊA, B. O.; PIRES, D. da S.; STUMPF, M. T.; SANTOS, F. G. dos. **Avaliação de variedades de milho para produção de forragem no Litoral Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 16 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 38). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/744960/1/boletim38.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

MUCK, R. E.; KUNG JR., L.; COLLINS, M. Silage production. In: MOORE, K. J.; COLLINS, M.; NELSON, C. J.; REDFEAM, R. R. (ed.). **Forages: the science of grassland agriculture**. 7th ed. Chichester: Willey-Blackwell, 2020. p. 767-787.

MUCK, R. E.; PITT, R. E. Ensiling and its effect on crop quality. In: NATIONAL SILAGE PRODUCTION CONFERENCE, 1993, Ithaca, NY. **Proceedings** [...]. Ithaca: Nraes, 1993. p. 57- 66.

NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 abr. 2024.

OLIVEIRA, P. S. d'; TARDIN, F. D.; MACHADO, J. R. de A. **BRS 1501, BRS 1502 e BRS 1503**: cultivares de milho para uso forrageiro, produção de grãos e de palha em plantio direto. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2022. 10 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado técnico, 94). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1141554/1/COT-94-Cultivares-de-milho-para-uso-forrageiro-producao-graos-e-palha.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

PEREIRA FILHO, I. A.; FERREIRA, A. da S.; COELHO, A. M.; CASELA, C. R.; KARAM, D.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, J. C.; WAQUIL, J. M. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 29). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/487545/1/Circ29.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivares. In: PEREIRA FILHO, I. A. (ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 3). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748814/1/Milho-Cultivares.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SANTOS, F. G. dos. Milho no Brasil: desenvolvimento de cultivares. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO, 1999, Planaltina, DF. **Anais** [...]. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. p. 161-167. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/483403/1/MilhoBrasil.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SILVEIRA, M. C. T. da; SIMEÃO, R. M.; LEANDRO, T. T.; RIBEIRO, A. C. G.; GONTIJO NETO, M. M.; SOUSA, S. M. de; PARRELLA, R. A. da C.; TARDIN, F. D. **Caracterização da produção de forragem de cultivares tropicais**

anuais em resposta a diferentes estratégias de manejo e aprimoramento de uso. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2024. 26 p. (Embrapa Pecuária Sul. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 57). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1163948/1/BP-57-online.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

TARDIN, F. D.; SILVA, M. J. da; SILVA, K. J. da; BERNARDINO, K. da C.; CARVALHO JÚNIOR, G. A. de. Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo granífero cultivados na safrinha em Sete Lagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. **Panorama atual e perspectivas do melhoramento de plantas no Brasil.** [Búzios]: SBMP, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/933247/1/Desempenhoagronomico2.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

Prospecção de actinobactérias com potencial ação bioherbicida⁽¹⁾

Bárbara Ventura Ferreira⁽²⁾, Mikaelly Sousa Marins⁽³⁾, Ivanildo Evódio Mariel⁽⁴⁾ e Alexandre Ferreira da Silva⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista PIBIC/CNPq. ⁽³⁾ Bolsista, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – A busca por formas sustentáveis de manejo de plantas daninhas é um desafio crucial na Ciência de Plantas Daninhas, impulsionando a prospecção de novas moléculas herbicidas de origem microbiana. A resistência das plantas daninhas aos herbicidas convencionais intensifica a necessidade de soluções inovadoras. Neste contexto, as actinobactérias, reconhecidas por produzir compostos bioativos, destacam-se como potenciais bioherbicidas. O objetivo deste estudo foi avaliar a atividade herbicida do sobrenadante de 53 estirpes de actinobactérias da Coleção de Microrganismos Multifuncionais e Fitopatogênicos (CMMF) da Embrapa Milho e Sorgo, utilizando pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora. As actinobactérias foram isoladas, reativadas em meio sólido e cultivadas em meio líquido M21 por 15 dias a 28 °C e 120 RPM. As sementes de pepino, desinfestadas com Peróxido 3%, germinaram em tubos de ensaio contendo algodão esterilizado embebido nos sobrenadantes filtrados. A germinação foi monitorada por 7 dias em câmara de crescimento a 28 °C ± 2, com fotoperíodo de 12-12 horas. Foram utilizados três controles: água estéril, meio de cultura não inoculado e glifosato. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, com seis repetições. Os dados foram submetidos à ANOVA e, em caso de significância, ao teste de Scott-Knott a 5%. Com o objetivo de demonstrar a eficácia de controle de cada uma das cepas, os dados e as médias foram apresentados em gráfico de dispersão. Com base na análise estatística, os tratamentos puderam ser agrupados em quatro níveis de controle. Destaque para nove tratamentos que mostraram efeitos semelhantes ao glifosato. Os resultados indicam que as actinobactérias produzem compostos com potencial herbicida, sendo uma alternativa promissora para o controle biológico e a prospecção de novas moléculas. Novos testes devem avaliar o espectro de controle e a seletividade desses compostos em culturas de interesse econômico.

Termos para indexação: controle biológico, planta daninha, manejo sustentável.

Prospecting for actinobacteria with potential bioherbicidal action

Abstract – The search for sustainable ways of weed management is a crucial challenge in Weed Science, driving the exploration of new herbicide molecules of microbial origin. The resistance of weeds to conventional herbicides intensifies the need for innovative solutions. In this context, actinobacteria, recognized for producing bioactive compounds, stand out as potential bioherbicides. The objective of this study was to evaluate the herbicide activity of the supernatant of 53 strains of actinobacteria from the Collection of Multifunctional and Phytopathogenic Microorganisms (CMMF) of Embrapa Milho e Sorgo, using cucumber (*Cucumis sativus*) as an indicator plant. Actinobacteria were isolated, reactivated in solid medium and cultured in liquid M21 for 15 days at 28 °C and 120 rpm. The cucumber seeds, disinfested with 3% peroxide, germinated in test tubes containing sterile cotton soaked in filtered supernatants. Germination was monitored for 7 days in a growth chamber at 28 °C ±2, with a photoperiod of 12-12 hours. Three controls were used: sterile water, uninoculated

culture medium and glyphosate. The statistical design used was completely randomized, with six replications. The data were submitted to ANOVA and, in case of significance, to the Scott-Knott test at 5%. In order to demonstrate the control effectiveness of each strain, the average data were presented in a scatter plot. Based on statistical analysis, the treatments could be grouped into four control levels. Highlight for nine treatments that showed glyphosate-like effects. The results indicate that actinobacteria produce compounds with herbicide potential, being a promising alternative for biological control and prospecting of new molecules. New tests should evaluate the control spectrum and selectivity of these compounds in crops of economic interest.

Index terms: biological control, weeds, sustainable management.

Introdução

O manejo de plantas daninhas é uma prática essencial na agricultura para garantir a produtividade e a qualidade das culturas. Entre os métodos disponíveis, destacam-se os controles preventivo, mecânico, físico, químico e biológico (Silva et al., 2007). O controle químico, por ser amplamente utilizado, tem gerado preocupações devido ao seu impacto ambiental e aos riscos à saúde humana, especialmente quando realizado de forma inadequada (Deuber, 2006). A contaminação do solo e da água, a redução da biodiversidade e a resistência das plantas daninhas aos herbicidas são problemas recorrentes que reforçam a necessidade de alternativas mais sustentáveis (Fischer et al., 2018).

Dentro deste contexto, o controle biológico emerge como uma alternativa promissora, oferecendo uma abordagem que minimiza os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Este método utiliza organismos vivos ou seus metabólitos para suprimir populações de plantas daninhas, alinhando-se às práticas de manejo integrado de pragas (MIP) que buscam reduzir a dependência de produtos químicos (Silva et al., 2018). Pesquisas recentes têm intensificado a investigação sobre o uso de microrganismos como agentes de biocontrole, especialmente na área de matologia.

Entre os microrganismos com potencial para o controle biológico, as actinobactérias destacam-se por sua ampla diversidade genética e capacidade de produzir metabólitos secundários com propriedades bioativas, como compostos antimicrobianos e fitotóxicos (Wellington; Toth, 1992; Taguchi et al., 1993). Esses metabólitos podem inibir o crescimento de plantas, o que torna as actinobactérias uma alternativa viável e ecologicamente sustentável ao controle químico de plantas daninhas. Essas bactérias são encontradas naturalmente no solo e na rizosfera das plantas, onde desempenham um papel crucial no equilíbrio ecológico (Oren; Garrity, 2021).

Dessa forma, estudos prospectivos que avaliem o potencial dos metabólitos secundários produzidos por essas bactérias são de grande importância para analisar o potencial de desenvolvimento de novos bioprodutos. O objetivo do trabalho foi avaliar a atividade herbicida do sobrenadante de 53 estirpes de actinobactérias da Coleção de Microrganismos Multifuncionais e Fitopatogênicos (CMMF) da Embrapa Milho e Sorgo, utilizando pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora.

Os resultados obtidos demonstram o grande potencial das actinobactérias como fonte de novos bioherbicidas para o controle de plantas daninhas de forma mais sustentável e eficiente, estando, portanto, alinhados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável) da ONU, especificamente à meta 2.4, que visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

No período do estágio no Laboratório de Microbiologia e Bioquímica do Solo, na unidade Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, foram desenvolvidas atividades amparadas pelo orientador Dr. Alexandre Ferreira, com auxílio da analista de laboratório Fabiane Souza e da bolsista de doutorado Mikaely Sousa Marins.

O pepino (*Cucumis sativus*) foi escolhido como planta bioindicadora de folha larga para iniciar os testes. Primeiro foi necessário ajustar a metodologia de desinfestação das sementes, até chegar ao protocolo que não afetasse a germinação e controlasse a proliferação de microrganismos indesejados nas sementes. Foi adotado o seguinte método: as sementes de pepino foram embebidas em peróxido de hidrogênio 3% por 2 minutos; em seguida, lavadas três vezes em água esterilizada por 1 minuto, a cada vez. A última água utilizada foi plaqueada para confirmar a eficiência do processo de limpeza. Após isso, foram deixadas em placa de Petri de vidro autoclavada para secarem, processo todo dentro do fluxo laminar.

Foi necessário encontrar um meio de cultura que não afetasse a germinação das sementes; ao todo foram testados cinco meios de cultura. Eles foram M01 (10g/L de glicerina, 0,3g/L caseína, 3 g/L KNO₃, 2 g/L K₂HPO₄, 2 g/L NaCl, 0,05 g/L MgSO₄.7H₂O, 0,02 g/L CaCO₃, 0,01 g/L FeSO₄.7H₂O, pH=7.8), M03 (10 g/L peptona de soja, 10 g/L glicose, 20 g/L amido, 3 g/L CaCO₃), M19 (5g/L glicerina, 4g/L propionato de sódio, 2g/L KH₂PO₄, 0,1 g/L asparagina, 0,1 g/L MgSO₄.7H₂O, 1 mg FeSO₄.7H₂O, pH=7), M20 (10g/L de glicerina, 0,3g/L caseína, 3 g/L KNO₃, 2 g/L K₂HPO₄, 2 g/L NaCl, 0,05 g/L MgSO₄.7H₂O, 0,02 g/L CaCO₃, 0,01 g/L FeSO₄.7H₂O, pH=7±1) e M21 (10 g/L amido, 1 g/L caseína, 5 g/L NaCl, pH=7.2±0.2).

Ao selecionar o meio M21, este foi preparado líquido, inoculado com as cepas de actinobactérias reativadas, um total de 53. Os erlenmeyers de 50 mL contendo 20 mL de meio de cultura com macerado de actinomiceto, em solução salina, foram incubados em agitação por 15 dias na rotação de 120 rpm a 28 °C. Depois desse período, os meios com actinobactérias foram centrifugados a 8.000 rpm por 10 minutos (Centrífuga HETTICH Zentrifugen Universal 320R 9000RPM), filtrados com suporte de filtração autoclavável (diâmetro de 25 mm) para membrana millipore com poro de 22 µm e transferidos para placas de Petri estéreis descartáveis e identificadas.

O ensaio teve um total de 56 tratamentos, entre os actinomicetos e os controles (água, meio de cultura M21 e glifosato), com três repetições com duas sementes de pepino em cada tubo, totalizando 336 amostras. Os tubos de ensaio foram autoclavados, foi colocada uma pequena quantidade de algodão esterilizado e em seguida as sementes foram totalmente secas e desinfestadas. Os tubos foram umedecidos com 1,6 mL do sobrenadante, do meio de cultura, do glifosato e da água estéril, em seguida, vedados com tampão autoclavado e plástico filme, foram expostos a fotoperíodo 12/12 horas por 7 dias, com temperatura média de 28 °C. No sétimo dia, o desenvolvimento das plântulas de pepino foi avaliado adotando uma escala visual que varia de 1 a 5, sendo 1 ausência de sintomas e 5 morte da plântula.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA); em caso de significância, foram submetidos ao teste de Scott Knott a 5%. Com o objetivo de facilitar a visualização do efeito dos metabólitos secundários sobre as plantas, as médias das notas de fitotoxidez, de cada tratamento, foram apresentadas em um gráfico de dispersão.

Resultados e discussão

Os resultados demonstram a grande diversidade de compostos bioativos produzidos pelas actinobactérias (Figura 1). Com base na análise estatística realizada, é possível agrupar as cepas em quatro grupos de controle (dados não apresentados). Nove tratamentos apresentaram efeito similar ao glifosato (x1, x2).

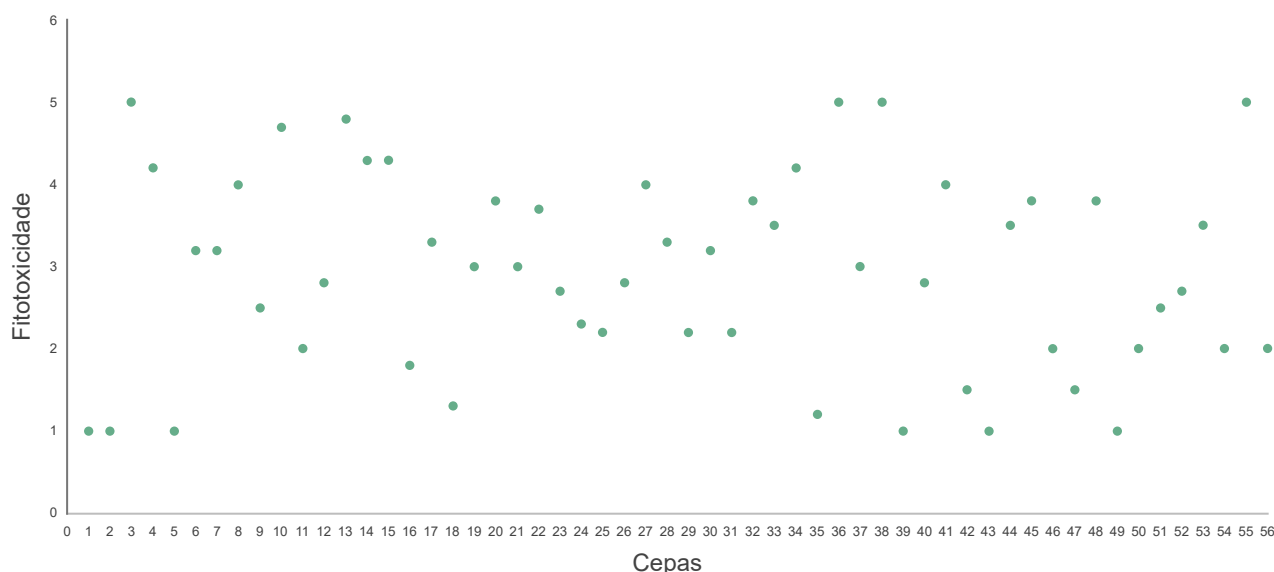


Figura 1. Gráfico de dispersão da avaliação de fitotoxidez dos metabólitos secundários de diferentes cepas de actinomicetos sobre pepino (*Cucumis sativus*) aos 7 dias após incubação.

Embora o estudo não tenha investigado os mecanismos de ação dos compostos, a literatura científica indica que as actinobactérias produzem uma variedade de metabólitos secundários com diferentes modos de ação, incluindo inibição da fotossíntese, interferência no crescimento celular e indução de estresse oxidativo.

A seletividade dos compostos bioativos é um aspecto crucial para o desenvolvimento de bioherbicidas. Novos testes com diferentes culturas de interesse econômico são necessários para avaliar o potencial de fitotoxidade e a seletividade dos compostos identificados. Apesar dos resultados promissores, ainda existem desafios a serem superados para o desenvolvimento comercial de bioherbicidas à base de actinobactérias, como a otimização dos processos de produção, a formulação dos produtos e a realização de testes de campo em larga escala.

Conclusões

Os resultados deste estudo demonstram o grande potencial das actinobactérias como fonte de novos bioherbicidas. A identificação de diversas estirpes com atividade herbicida abre novas perspectivas para o desenvolvimento de estratégias de controle de plantas daninhas mais sustentáveis e eficientes. No entanto, são necessários mais estudos para aprofundar o conhecimento sobre os

mecanismos de ação, a seletividade e a eficácia dos compostos bioativos produzidos por essas bactérias.

Referências

DEUBER, R. **Ciência das plantas infestantes: fundamentos**. Jaboticabal: Unesp, 2006. 148 p.

FISCHER, I. H.; MORAES, M. F. de.; PALHARINI, M. C. de A.; FILETI, M. de S.; CRUZ, J. C. S.; FIRMINO, A. C. Effect of conventional and alternative products on postharvest disease control in avocados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452018408>.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

OREN, A.; GARRITY, G. M. Valid publication of the names of forty-two phyla of prokaryotes. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 71, n. 10, 005056, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005056>.

SILVA, A. F. da; CONCENCO, G.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; FERREIRA, E. A. Métodos de controle de planta daninhas. In: OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. (ed.). **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 11-33.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, J. B. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

TAGUCHI, S.; KIKUCHI, H.; SUZUKI, M.; KOJIMA, S.; TERABE, M.; MIURA, K.; NAKASE, T.; MOMOSE, H. Streptomyces subtilisin inhibitor-like proteins are distributed widely in Streptomyces. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 59, n. 1, p. 4338-4341, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.59.12.4338-4341.1993>.

WELLINGTON, E. M. H.; TOTH, I. **Course of actinomycetes ecology**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPAB, 1992. Mimeografado.

Atividade enzimática em solo cultivado com milho silagem: efeitos do consórcio com braquiária e tratamentos de adubação nitrogenada⁽¹⁾

Gabriela Guimarães Reis⁽²⁾, Monna Lysa Teixeira Santana⁽³⁾, Denise Pacheco dos Reis⁽³⁾, Ótávio Augusto Alves Mendes⁽²⁾, Laisla da Costa Almeida Lage⁽⁴⁾, Ivanildo Evodio Marriel⁽⁵⁾, Álvaro Vilela de Resende⁽⁵⁾, Miguel Marques Gontijo Neto⁽⁵⁾ e Vitor Paulo Vargas⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo projeto Embrapa/Yara Brasil. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Estudante de pós-doutorado. ⁽⁴⁾ Estudante de mestrado, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁶⁾ Pesquisador, Yara Internacional, Porto Alegre, RS.

Resumo – O consórcio de milho com braquiária, se comparado ao milho exclusivo, propicia um ambiente mais favorável ao desenvolvimento da microbiota, contribuindo para a melhoria da saúde e resiliência do solo. A atividade enzimática do solo é um parâmetro fundamental para avaliar a sua qualidade e antever alterações resultantes do manejo agrícola. Nesse sentido, objetivou-se quantificar a atividade de determinadas enzimas em amostras de solo cultivado para a produção de milho silagem, em sistemas consorciado ou não com *Urochloa ruziziensis*, sob tratamentos de adubação nitrogenada: 1) Sem N na adubação de base ou cobertura. 2) Controle sem N na adubação de cobertura. 3) Cobertura com nitrato de amônio. 4) Ureia comum. 5) Ureia + NBPT, sendo essas três fontes aplicadas na dose de 220 kg ha⁻¹ de N. As análises foram realizadas na Embrapa Milho e Sorgo. A atividade das enzimas betaglicosidase e arilsulfatase foi estatisticamente distinta entre os sistemas consorciado e exclusivo. O sistema consorciado de milho com braquiária apresentou maior atividade das enzimas betaglicosidase e arilsulfatase, indicadoras da saúde do solo.

Termos para indexação: saúde do solo, nitrogênio, sustentabilidade agrícola, microbiologia do solo.

Enzymatic activity in soil cultivated with maize silage: effects of intercropping with brachiaria and nitrogen fertilization treatments

Abstract – The intercropping maize-brachiaria, compared to monocropping maize production, provides a more favorable environment for the development of the microbiota, contributing to the improvement of soil health and resilience. Soil enzymatic activity is a fundamental parameter for evaluating soil quality and predicting changes resulting from agricultural management. In this sense, the objective of the work was to quantify the activity of certain enzymes in soil samples cultivated for the production of maize silage, in systems intercropped or not with *Urochloa ruziziensis*, under nitrogen (N) fertilization treatments: 1) No nitrogen in the basal and topdressing fertilization. 2) Control without N topdressing. 3) Calcium ammonium nitrate. 4) Common urea. 5) Urea + NBPT, with the latter three sources applied at a rate of 220 kg ha⁻¹ of N. The analysis were carried out at Embrapa Maize and Sorghum. The activity of beta-glucosidase and arylsulfatase enzymes was statistically different between the intercropping and monocropping systems. The intercropped system of maize with brachiaria showed greater activity of the enzymes beta-glucosidase and arylsulfatase, indicators of soil health.

Index terms: soil health, nitrogen, agricultural sustainability, soil microbiology.

Introdução

A produção de milho silagem é uma prática agrícola amplamente realizada no Brasil, mas pode causar significativa degradação do solo por causa da quase total remoção da matéria vegetal do campo. Para mitigar esses impactos, o consórcio do milho com forrageiras surge como uma estratégia eficaz. Gramíneas forrageiras como as braquiárias, por exemplo, com raízes abundantes e profundas, promovem a ciclagem e disponibilidade de nutrientes, auxiliam na estabilização de agregados do solo e, conseqüentemente, na redução da suscetibilidade à erosão.

A avaliação de indicadores relacionados à saúde do solo se faz necessária para validação dos benefícios do cultivo de milho consorciado com braquiária. Tecnologias como a BioAs, desenvolvida pela Embrapa, têm sido pioneiras na integração de bioindicadores que qualificam a parte biológica do solo (Mendes et al., 2020). Esses bioindicadores permitem que os agricultores obtenham informações para interpretar e tomar decisões mais assertivas e rápidas no uso e manejo do solo.

Entre os principais bioindicadores utilizados para avaliar a microbiologia do solo estão as enzimas betaglicosidase e arilsulfatase. Essas enzimas desempenham papéis cruciais nos ciclos biogeoquímicos do solo e no metabolismo dos microrganismos (Matsuoka et al., 2003).

Por confirmar informações sobre fatores de manejo cultural que favorecem a saúde do solo na produção de milho silagem, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável, mais especificamente para com a meta 2.4:

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

O objetivo do estudo, portanto, foi quantificar a atividade das enzimas betaglicosidase e arilsulfatase em amostras de solo cultivado para a produção de milho silagem, em sistema exclusivo ou consorciado com braquiária *ruziziensis*, sob diferentes tratamentos de adubação nitrogenada.

Material e métodos

O trabalho foi conduzindo na estação experimental do Reagro Pesquisa, localizada no município de Nazareno, MG (21°15'40.3"S 44°31'02.1"W), em um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa.

O experimento de campo, iniciado na safra 2022-2023, consiste de dois sistemas de produção de milho para silagem, cultivo exclusivo e consorciado com braquiária *ruziziensis* (*Urochloa ruziziensis*), com diferentes tratamentos de adubação nitrogenada: 1) Sem N na adubação de base ou cobertura. 2) Controle sem N na adubação de cobertura. 3) Nitrato de amônio (CAN). 4) Ureia comum. 5) Ureia + NBPT. As três fontes foram aplicadas em cobertura no estágio V3-4 do milho, na dose de 220 kg ha⁻¹ de N. Em cada sistema de produção, os tratamentos de adubação nitrogenada foram dispostos em delineamento em blocos casualizados.

O milho foi semeado em 18/10/2022, sendo que no sistema consorciado as sementes da braquiária foram misturadas ao adubo de base distribuído no sulco de plantio. Após a colheita do milho para silagem, em 15/2/2023, foram realizados dois cortes da braquiária do consórcio no período de entressafra. As amostras de solo para análises enzimáticas foram coletadas em 2/10/2023, após a dessecação das áreas para o início da safra seguinte, na profundidade de 0 a 10 cm. Em cada parcela, foi obtida uma amostra composta de nove amostras simples, sendo seis coletadas nas entrelinhas e três nas linhas de adubação do primeiro ciclo de cultivo.

As atividades da betaglicosidase e arilsulfatase foram avaliadas conforme o método descrito por Tabatabai et al. (1994). Os dados de atividade enzimática foram submetidos à análise de variância conjunta, de modo a verificar a existência de interação entre tratamentos de adubação nitrogenada e sistemas de produção com e sem braquiária em consórcio. Quando significativo o teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas no software R, versão 4.2.3 (R Core Team, 2024).

Resultados e discussão

A enzima betaglicosidase foi sensível aos sistemas de produção de milho silagem exclusivo ou em consórcio com braquiária, mas sem diferenças significativas por causa dos tratamentos de adubação nitrogenada (Figura 1). O sistema de consórcio apresentou os maiores valores da atividade desta enzima para todos os tratamentos de adubação nitrogenada.

Semelhantemente ao que foi observado para a betaglicosidase, a atividade da enzima arilsulfatase foi maior no sistema consorciado para todos os tratamentos de adubação nitrogenada (Figura 2). A atividade da arilsulfatase no sistema consorciado apresentou média de $92,5 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}\text{solo h}^{-1}$, enquanto que no sistema de milho exclusivo foi de $73,1 \mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}\text{solo h}^{-1}$.

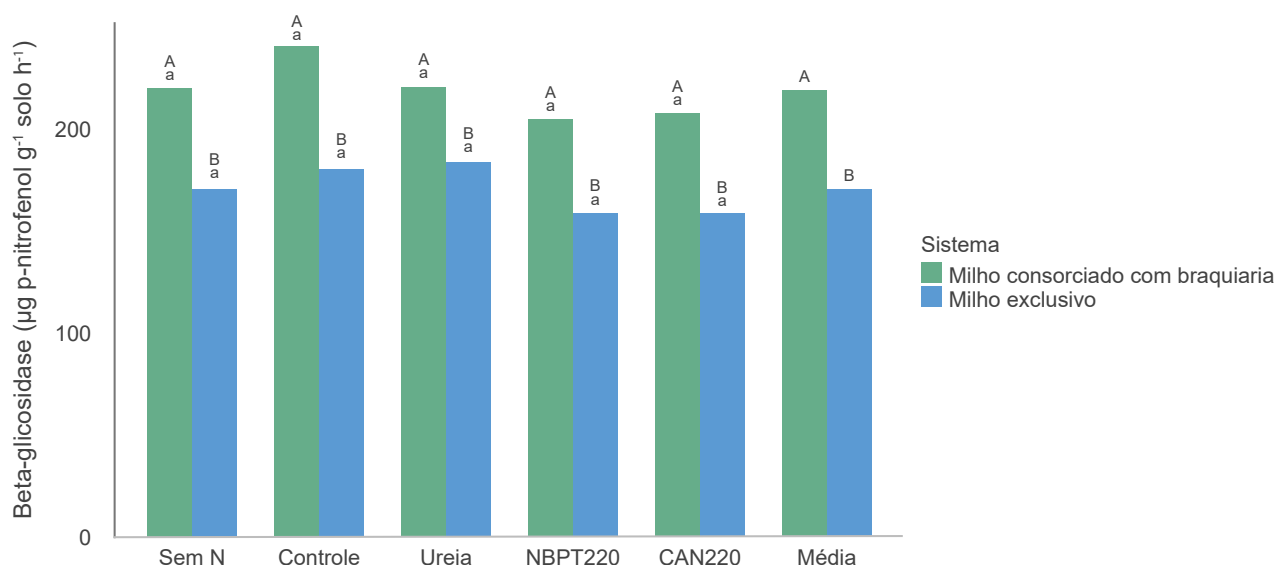


Figura 1. Atividade da enzima betaglicosidase em sistemas de cultivo milho silagem exclusivo e consorciado com braquiária, sob tratamentos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas diferentes para sistemas e letras minúsculas para tratamentos de adubação indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

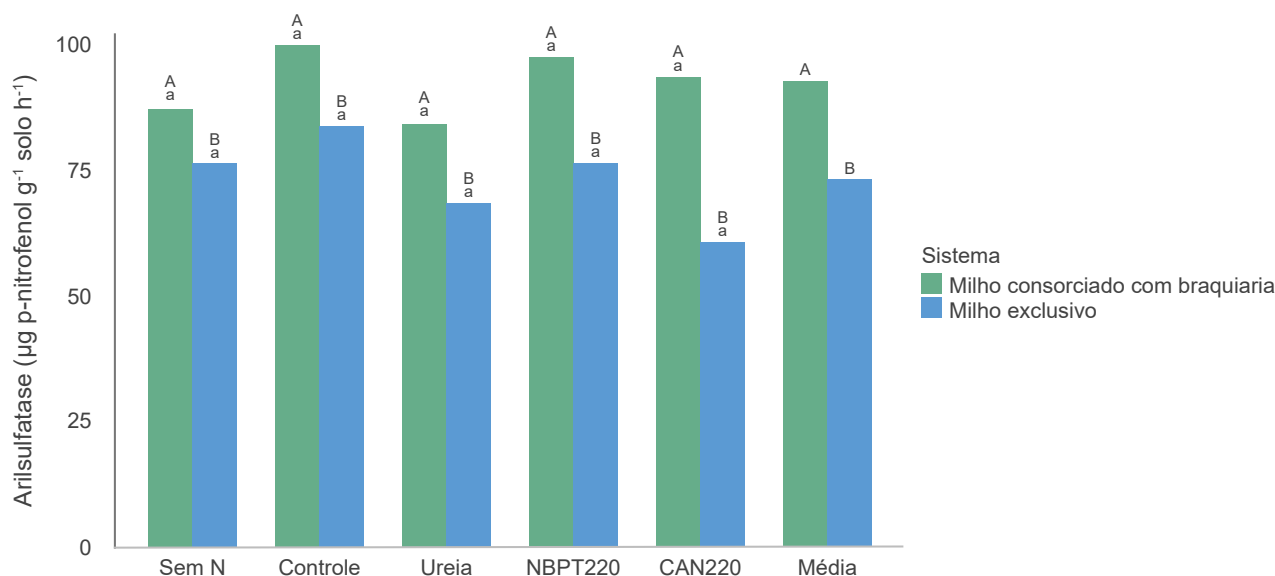


Figura 2. Atividade da enzima arilsulfatase em sistemas de cultivo milho silagem exclusivo e consorciado com braquiária, sob tratamentos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas diferentes para sistemas e letras minúsculas para tratamentos de adubação indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As enzimas betaglicosidase e arilsulfatase se mostraram sensíveis e tiveram sua atividade influenciada pelo sistema de produção de milho utilizado e/ou pelos tratamentos de adubação nitrogenada. Este comportamento foi observado também por Rodrigues et al. (2022) nas avaliações enzimáticas do solo sob cultivo de café utilizando-se braquiária consorciada, constatando maior atividade das enzimas betaglicosidase e arilsulfatase com 33 e 46% maiores que nos demais manejos ausentes de plantas de cobertura. De fato, a atividade de betaglicosidase e de arilsulfatase tem sido utilizada como bioindicadora da qualidade do solo, pois é maior em sistemas de manejo mais sustentáveis, refletindo a condição de saúde dele, conforme enfatizado por Mendes et al. (2019). Essas constatações subsidiaram, inclusive, o desenvolvimento de método de análise da atividade dessas duas enzimas em rotina para laboratórios prestadores de serviço, denominado BioAS, com classes de interpretação agrônômica dos resultados.

Conclusões

A análise de atividade das enzimas betaglicosidase e arilsulfatase foi sensível aos sistemas de cultivo de milho silagem exclusivo ou em consórcio com braquiária *rupestris*, bem como aos tratamentos de adubação nitrogenada.

O sistema consorciado apresentou, em geral, maiores valores de atividade enzimática, indicando melhor qualidade do solo.

Tais enzimas destacam-se como bioindicadoras da saúde do solo, sendo úteis na discriminação de alterações decorrentes de práticas e sistemas de manejo do solo e da cultura, associadas à sustentabilidade na produção de milho silagem.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela concessão da bolsa Pibic. À Yara Brasil e à Embrapa Milho e Sorgo, em parceria no projeto 20.23.00.061.00.00, pelo suporte financeiro.

Referências

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300004>.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C.; SOUZA, L. M. de; CHAER, G. M. Bioanálise de solo: aspectos teóricos e práticos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 10, p. 399-462, 2019.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; SILVA, O. D. D. da; OLIVEIRA, M. I. L. de; LOPES, A. A. de C.; SOUZA, L. M. de. Bioanálise de solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. **Informações Agrônomicas**, n. 8, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128778/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronomicas.pdf>. Acesso em: 12 maio 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 6 jun. 2024.

RODRIGUES, R. N.; REIS JÚNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C.; ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; VEIGA, A. D.; MENDES, I. de C. Soil enzymatic activity under coffee cultivation with different water regimes associated to liming and intercropped brachiaria. **Ciência Rural**, v. 52, n. 3, e20200532, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200532>.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: MICKELSON, S. H.; BIGHAM, J. M. (ed.). **Methods of soil analysis**: part 2: microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994, p. 775-833. (Soil Science Society of America. Book Series, 5).

Produtividade, adaptabilidade e estabilidade produtiva de cultivares de milho de menor custo de sementes⁽¹⁾

Lucas Pessoa Moreira de Oliveira⁽²⁾, Roberto dos Santos Trindade⁽³⁾, Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães⁽³⁾, Lauro José Moreira Guimarães⁽³⁾, Bruno Henrique Messi⁽⁴⁾, Raul Paredes Ferreira⁽⁴⁾, Joana Cecília Moreira Gonçalves⁽⁴⁾, Samuel Henrique de Sousa Lyra⁽⁴⁾, Rafael Luís Ferreira Moreira⁽⁴⁾ e Lucas Pereira dos Santos Costas⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPQ. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Estudante, graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG.

Resumo – A variabilidade inerente à avaliação de genótipos em diferentes localidades demanda o uso de métodos robustos para quantificação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho. Neste contexto, o uso de estatística não paramétrica para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, como o método proposto por Lin e Binns (1988), destaca-se por sua simples execução e pela facilidade na interpretação dos resultados. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de baixo custo de sementes em dez ambientes de safra/safrinha. Nesta pesquisa, foram avaliadas 25 cultivares de milho em dez ambientes no ano agrícola 2021/2022. Em todos os locais, os ensaios foram conduzidos no delineamento látice quadrado 5 x 5, com duas repetições. Foi avaliada a produtividade dos grãos por parcela de cada cultivar, corrigida a 13% de umidade, e convertida em t ha⁻¹. Os resultados indicam que a estatística Pi foi eficiente para a seleção de cultivares de milho de baixo custo de sementes, sendo os ambientes Paraíso e Goiânia os mais favoráveis para a produção de grãos, com médias de 8,86 e 9,51 t ha⁻¹, respectivamente. Dentre os genótipos avaliados, 3S2761, BM270 PRO2 e 3S2755 expressaram o melhor desempenho em termos de adaptabilidade e estabilidade, sendo os mais recomendados para plantio, independentemente do ambiente.

Termos para indexação: *Zea mays*, variedade, polinização, híbrido TopCross, Interação genótipos x ambiente.

Productivity, adaptability, and yield stability of lower-cost corn cultivars

Abstract – The inherent variability in the evaluation of genotypes across different locations requires the use of robust methods for quantifying the adaptability and stability of maize genotypes. In this context, the use of non-parametric statistics for the evaluation of adaptability and stability, such as the method proposed by Lin e Binns (1988), stands out for its simple execution and ease of result interpretation. The objective of this study was to evaluate the adaptability and stability of low-cost seed cultivars in ten crop season environments. In this research, 25 maize cultivars were evaluated across ten environments during the 2021/2022 agricultural year. In all locations, the trials were conducted using a 5 x 5 square lattice design with two replications. Grain yield per plot of each cultivar was evaluated, corrected to 13% moisture, and converted to t ha⁻¹. The results indicate that the Pi statistic was efficient in selecting low-cost seed maize cultivars, with Paraíso and Goiânia

environments being the most favorable for grain production, with averages of 8.86 and 9.51 t ha⁻¹, respectively. Among the genotypes evaluated, 3S2761, BM270 PRO2, and 3S2755 demonstrated the best performance in terms of adaptability and stability, making them the most recommended for planting, regardless of the environment.

Index terms: *Zea mays*, variety, pollination, TopCross hybrid, genotype x environment interaction.

Introdução

O milho (*Zea mays*) é uma planta alógama pertencente à família Poaceae. É uma cultura de grande importância econômica, por seu uso como alimento, forragem ou na agroindústria (Cabral et al., 2000). Uma das maiores características da cultura do milho é a adaptabilidade da cultura a diferentes ambientes, em razão da variabilidade genética. Entretanto, a avaliação de genótipos em distintos ambientes e épocas de cultivo pode incorrer em desbalanceamento dos dados por causa de perda ou inclusão de tratamentos ou da existência de heterogeneidade das variâncias entre os diferentes ambientes (Cruz; Carneiro, 2003).

Cardoso et al. (2012) avaliaram a adaptabilidade e a estabilidade de variedades e híbridos de milho, em diferentes ambientes do Meio-Norte brasileiro, sendo observado que os híbridos mostraram melhor adaptação que as variedades para o conjunto dos ambientes de teste, sendo detectadas diferenças entre os genótipos e os ambientes e comportamento inconsistente desses genótipos na média dos ambientes. Por sua vez, Lima et al. (2023), selecionando híbridos de milho, por meio da análise GGE biplot, bem como avaliando sua estabilidade e adaptabilidade em diferentes ambientes das regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, detectaram interação significativa entre genótipos e ambientes, além da formação de três macroambientes com base em dados de produtividade de híbridos experimentais de milho. Esses trabalhos demonstram a variabilidade inerente à avaliação de genótipos em diferentes localidades, o que demanda o uso de métodos robustos para quantificação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de milho.

Neste contexto, o uso de estatística não paramétrica para a avaliação da adaptabilidade e estabilidade, como o método proposto por Lin e Binns (1988), destaca-se por sua simples execução e pela facilidade na interpretação dos resultados. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de baixo custo de sementes em dez ambientes de safra/safrinha.

Por apresentar dados relativos ao desempenho de genótipos de milho em diferentes ambientes de cultivo no Brasil, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável - Fome zero e agricultura sustentável, mais especificamente para com a meta 2.4:

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

Para a realização da pesquisa, foram avaliadas 25 cultivares de milho (Tabela 1), sendo três híbridos duplos experimentais, nove híbridos triplos experimentais, cinco híbridos TopCross e oito testemunhas.

Tabela 1. Relação de genótipos avaliados no experimento em dez ambientes de safra e safrinha no ano agrícola 2021/2022.

Tipo	Identificação
Híbrido Duplo	2R2642
Híbrido Duplo	2R2643
Híbrido Duplo	2S2697
Híbrido Triplo	3P2200
Híbrido Triplo	3S2730
Híbrido Triplo	3S2731
Híbrido Triplo	3S2734
Híbrido Triplo	3S2755
Híbrido Triplo	3S2761
Híbrido Triplo	3S2770
Híbrido Triplo	3S2772
Híbrido Triplo	3S2787
Híbrido TC	HTC697
Híbrido TC	HTC717
Híbrido TC	HTC781
Híbrido TC	HTC795
Híbrido TC	HTC771
Testemunha	1Q2400
Testemunha	1Q2403
Testemunha	AG8061 PRO2
Testemunha	BM270 PRO2
Testemunha	BRS 3042
Testemunha	BRS2022
Testemunha	BRS2107
Testemunha	SHS7930 PRO2

Os ensaios foram conduzidos em dez ambientes de safra e safrinha no ano agrícola 2021/2022: Janaúba, MG - Estresse hídrico (Safra); Janaúba, MG - Irrigado (Safra); Sinop, MT (Safrinha); Londrina, PR (Safra); Londrina, PR (Safrinha); Sete Lagoas, MG (Safra); Goiânia, GO (Safra); Brejo, MA (Safra); Teresina, PI (Safra); Paraíso, TO (Safrinha). Em todos os locais, os ensaios foram

conduzidos no delineamento látice quadrado 5 x 5, com duas repetições. As parcelas foram constituídas por duas linhas com 4 m de comprimento, espaçadas em 0,80 m. As adubações de plantio e cobertura, e os demais tratos culturais, foram realizados de acordo com a época e o sistema de cultivo para cada ambiente, em conformidade com as normas técnicas (Coelho, 2006).

Foi avaliada a produtividade dos grãos (PG) por parcela de cada cultivar, corrigida a 13% de umidade, e convertida em t.ha⁻¹. Para a análise dos dados, procedeu-se inicialmente à análise de variância, para detecção da interação genótipos por ambientes, seguindo-se da estratificação de ambientes e da quantificação da adaptabilidade e estabilidade, utilizando o método não paramétrico elaborado por Lin & Binns (1988), que se baseia no estimador Pi como parâmetro para determinação do comportamento dos genótipos em um conjunto de ambientes. Em todos os procedimentos empregou-se o software GENES (Cruz, 2001).

Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância (não apresentados) indicaram a existência de interação genótipo x ambientes, mostrando grande variabilidade entre genótipos e ambientes. A média geral foi 6,66 t/ha, acima da média nacional, de 4,9 t/ha (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2024), demonstrando que mesmo híbridos de baixo custo de sementes podem ser opção de plantio em diferentes condições.

Dentre os ambientes avaliados, com base no índice Pi (Tabela 2), verifica-se que os dois ensaios conduzidos em Janaúba foram os mais desfavorecidos pelas condições do ambiente, enquanto os ambientes Paraíso e Goiânia foram os mais favoráveis para a produção de grãos, com médias de 8,86 e 9,51 t/ha, respectivamente.

Tabela 2. Médias e valores máximos e mínimos de produtividade de grãos em toneladas por hectare (t ha⁻¹) e índice Pi para ambientes favoráveis e desfavoráveis com base no desempenho de genótipos de milho em cada ambiente.

Ambientes	Média (t ha ⁻¹)	Máximo (t ha ⁻¹)	Mínimo (t ha ⁻¹)	Índice Pi
Janaúba, MG - Estresse hídrico	3,41	7,08	1,61	-3,26
Janaúba, MG – Irrigado	5,06	6,67	4,17	-1,62
Sinop, MT	6,88	8,97	4,39	0,21
Londrina, PR	6,62	9,33	4,39	-0,06
Londrina, PR	6,06	9,06	3,57	-0,61
Sete Lagoas, MG	5,81	10,37	3,23	-0,86
Goiânia, GO	9,51	12,75	6,35	2,84
Brejo, MA	6,79	9,74	4,95	0,12
Teresina, PI	7,69	9,30	6,70	1,02
Paraíso, TO	8,86	11,76	7,10	2,19

Para a seleção dos genótipos mais adaptados e estáveis via estatística Pi, buscaram-se os genótipos de menor valor do estimador Pi, sendo que o ideal é que apresentem desempenho superior

em ambientes favoráveis e desfavoráveis ao mesmo tempo. Diante do exposto, os dados indicam que os genótipos 3S2761, BM270 PRO2 e 3S2755 expressaram o melhor desempenho em termos de adaptabilidade e estabilidade (Tabela 3), além de atingirem valores de produtividade acima de 8 t ha⁻¹, sendo os genótipos mais adaptados.

Tabela 3. Médias gerais de produtividade, índices Pi geral e em ambientes favoráveis e desfavoráveis estimados para 25 genótipos de milho, avaliados em dez localidades no ano agrícola 2021/2022.

Genótipo	Média (t ha ⁻¹)	Pi geral	Pi favoráveis	Pi desfavoráveis
1Q2400	7,5	3,32	0,55	6,06
1Q2403	7,80	2,00	0,75	3,26
2R2642	7,17	3,28	2,17	4,38
2R2643	6,80	4,23	4,97	3,48
2S2697	7,61	2,78	1,33	4,22
3P2200	6,80	4,10	4,55	3,65
3S2730	5,73	8,43	7,26	9,59
3S2731	6,86	4,12	3,36	4,88
3S2734	6,13	6,77	3,28	10,26
3S2755	8,21	1,58	1,28	1,88
3S2761	8,49	0,91	1,48	0,35
3S2767	6,71	4,59	3,77	5,40
3S2770	5,83	7,29	5,88	6,38
3S2772	6,32	6,13	5,87	8,51
3S2787	6,87	4,04	3,80	4,29
AG8061 PRO2	7,00	4,02	4,31	3,72
BM270 PRO2	8,34	1,32	1,70	0,94
BRS 2022	5,23	10,08	8,05	12,10
BRS 3042	6,37	5,90	3,29	8,70
BRS2107	6,08	6,70	4,57	8,82
HTC697	5,43	9,10	7,31	10,89
HTC717	5,55	8,70	5,65	11,74
HTC781	5,10	10,92	8,63	13,21
HTC795	5,63	8,47	7,61	9,32
SHS7930 PRO2	7,09	3,83	5,19	2,48

Conclusão

Com base nos dados apresentados, conclui-se que a estatística Pi foi eficiente para a seleção de cultivares de milho de baixo custo de sementes, sendo os ambientes Paraíso e Goiânia os mais favoráveis para a produção de grãos, com médias de 8,86 e 9,51 t ha⁻¹, respectivamente. Dentre

os genótipos avaliados, 3S2761, BM270 PRO2 e 3S2755 expressaram o melhor desempenho em termos de adaptabilidade e estabilidade, sendo os mais recomendados para plantio, independentemente do ambiente.

Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e à Fapemig. À equipe do programa de melhoramento de milho (pesquisadores, técnicos, assistentes, estagiários e bolsistas).

Referências

ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos, v. 11 - safra 2023/24, n. 4 – quarto levantamento: janeiro 2024. Brasília, DF: Conab, 2024. 116 p. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/4o-levantamento-safra-2023-24/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 10 abr. 2024.

CABRAL, A. C.; THEODOROVITZ, A. V.; SOUZA, S. N. M. de; MARI JUNIOR, A.; CABRAL, C. Milho (*Zea mays*) uma cultura energética. *Acta Iguazu*, v. 1, n. 4, p. 47-54, 2000. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/7748/0>. Acesso em: 13 abr. 2024.

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L. de; ROCHA, L. M. P.; PACHECO, C. A. P.; GUIMARÃES, P. E. de O.; PARENTONI, S. N.; OLIVEIRA, I. R. Identificação de cultivares de milho com base na análise de estabilidade fenotípica no Meio-Norte brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 2, p. 346-353, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200018>.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 648 p.

LIMA, J. A.; ROSSI, A. A. B.; SANTOS, T. O.; PENNA, G. F.; TARDIN, F. D.; TRINDADE, R. S.; GUIMARÃES, P. E. O.; GODINHO, V. P. C.; AMARAL JUNIOR, A. T.; CORDEIRO, A. G. M.; SANTOS, R. C. dos; JESUS, M. S. F.; POGALSKY, L. S.; TIAGO, A. V.; PEDRI, E. M.; FERREIRA, E. L.; ZANETTI, G. T. Adaptability and stability of corn hybrids for the south of the Amazon biome via GGE biplot. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 58, e02931, 2023. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02931>.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps88-018>.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

Suscetibilidade de genótipos de sorgo granífero à infestação por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento⁽¹⁾

Maria Rita N. Cruz⁽²⁾, Marcus V. R. Matos⁽³⁾, Eduarda L. Maia⁽⁴⁾, Artur S. Mamedes⁽⁵⁾, Cícero Beserra de Menezes⁽⁶⁾ e Marco Aurélio Guerra Pimentel⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq/Embrapa. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾ Estudante de mestrado, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. ⁽⁶⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – A identificação de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) resistentes à infestação por insetos é uma forma de manejo integrado de pragas (MIP), capaz de suprimir o desenvolvimento de pragas e preservar a qualidade dos grãos durante a armazenagem. O objetivo do trabalho foi avaliar diferentes genótipos de sorgo granífero à suscetibilidade de infestação por *Sitophilus zeamais* (caruncho) durante o armazenamento. O estudo avaliou o desenvolvimento populacional do caruncho-do-milho em 20 cultivares de sorgo. Os genótipos foram identificados, infestados em frascos de vidro com 50 insetos adultos, e mantidos armazenados por 70 dias em condição ambiente. Após o período de armazenamento, os grãos foram avaliados e foi contabilizada a progênie de insetos vivos, estimando o índice de suscetibilidade (IS) de cada genótipo; em seguida os dados foram submetidos a análises estatísticas. Os resultados demonstram uma grande variabilidade na infestação após o período de 70 dias de armazenamento, com alguns genótipos apresentando menor número de insetos vivos, como 50A40, CMSXS3011, MEN2305 e NUGRAIN430. Foram observadas também variedades que apresentaram alto potencial de infestação, dentre elas, G-505, ISV321 e SLP21K0007E. Os IS observados categorizam os materiais avaliados como resistentes e moderadamente resistentes. Essas informações são relevantes para orientar produtores e pesquisadores na escolha de genótipos mais resistentes a *S. zeamais*, contribuindo para estratégias de MIP mais eficazes e sustentáveis, garantindo a qualidade dos grãos armazenados e a rentabilidade agrícola.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, armazenamento de grãos, caruncho-do-milho.

Susceptibility of grain sorghum genotypes to *Sitophilus zeamais* infestation during storage

Abstract – The identification of sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L. Moench) resistant to insect infestations is a key component of integrated pest management (IPM), helping to suppress pest development and preserve grain quality during storage. This study aimed to evaluate different grain sorghum genotypes for their susceptibility to infestation by *Sitophilus zeamais* during storage. The research assessed the population development of maize weevils in 20 distinct cultivars. The genotypes were identified, infested in glass jars with 50 adult insects, and stored for 70 days under ambient conditions. After the storage period, the jars were evaluated, and the progeny of live insects was counted to estimate the susceptibility index (SI) for each genotype. The data were then subjected to statistical analyses. The results revealed high variability in infestation levels after 70 days of storage, with some genotypes, such as 50A40, CMSXS3011, MEN2305, and NUGRAIN430, exhibiting a

lower number of live insects. Conversely, varieties with high infestation potential, including G-505, ISV321, and SLP21K0007E, were also identified. The observed SIs categorized the evaluated materials as resistant and moderately resistant. This information is valuable for guiding producers and researchers in selecting genotypes more resistant to *S. zeamais*, thereby contributing to more effective and sustainable IPM strategies, ensuring the quality of stored grains, and enhancing agricultural profitability.

Index terms: *Sorghum bicolor*, grain storage, maize weevil.

Introdução

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura com crescente relevância na agricultura brasileira. Segundo os dados expressados pelo boletim de acompanhamento da safra brasileira de grãos da Companhia Nacional de Abastecimento, o cultivo desse cereal foi de 4.619,1 mil toneladas na safra 2023/2024, revelando demanda dele, que tem múltiplos usos, e a necessidade de maior desenvolvimento científico acerca dessa cultura (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2024).

O sorgo é utilizado como insumo para a produção de ração destinada a suínos, aves e bovinos, tanto quanto para a alimentação humana, constituindo-se em uma importante fonte energética nas dietas (Menezes et al., 2018). A criação de novas receitas para alimentação humana, que disponham de farinha de sorgo em sua composição, está adquirindo grande visibilidade, por causa da ausência de glúten na composição do cereal, permitindo que pessoas celíacas (com intolerância ao glúten) possam explorar uma alimentação mais inclusiva. O glúten é uma proteína com potencial inflamatório para o sistema digestivo humano, apresentando dificuldade na sua digestão e absorção de nutrientes, resultando em gases, constipação e outros incômodos (Queiroz et al., 2020).

Apesar da sua importância econômica, o sorgo enfrenta desafios significativos durante a pós-colheita, especialmente em relação às perdas causadas por insetos-praga, sendo o caruncho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), a principal espécie responsável por tais prejuízos. Esses insetos se alimentam e se desenvolvem no interior dos grãos, acarretando perdas quantitativas e qualitativas ao produto, o que prejudica sua comercialização (Chuck-Hernández et al., 2013; Mendes et al., 2014; Lorini, 2018; Pimentel et al., 2019).

Diante do número reduzido de inseticidas registrados para o manejo dessas pragas (Pimentel et al., 2019; Brasil, 2024) e visando uma abordagem mais sustentável, a identificação de cultivares resistentes à infestação se apresenta como uma estratégia importante no Manejo Integrado de Pragas de Grãos Armazenados (MIP-Grãos). A resistência de cultivares de sorgo a insetos-praga é uma forma alternativa de controle passivo, capaz de suprimir o desenvolvimento desses insetos e preservar a qualidade dos grãos durante o armazenamento. No entanto, ainda existem lacunas de conhecimento quanto à resistência e/ou tolerância das cultivares comerciais de sorgo à infestação por *S. zeamais*. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a suscetibilidade de genótipos de sorgo granífero ao desenvolvimento de *S. zeamais* durante o armazenamento dos grãos, como tentativa de identificar possíveis genótipos fonte de resistência à infestação pelo caruncho-do-milho.

O trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente ao ODS 2 – “Fome Zero e Agricultura Sustentável”, que prevê o

fortalecimento de sistemas produtivos resilientes e sustentáveis, e ao ODS 12 – “Consumo e Produção Responsáveis”, que estabelece como meta a redução das perdas pós-colheita e do desperdício de alimentos ao longo das cadeias produtivas (Nações Unidas, 2024a, 2024b). Dessa forma, os resultados do trabalho contribuem para a segurança alimentar, a sustentabilidade ambiental e o uso mais racional dos recursos na cadeia de produção e armazenagem de grãos.

Material e métodos

O estudo foi conduzido no laboratório de Grãos Armazenados da Embrapa Milho e Sorgo, localizado em Sete Lagoas, MG. As amostras de grãos de sorgo foram obtidas da equipe de melhoramento genético de sorgo, com plantio em 16/02/2023, na safra 2023.

O ensaio continha 20 genótipos de sorgo provenientes de materiais comerciais e experimentais, contendo as seguintes cultivares: MEN2301, MEN2304, MEN2305, CMSXS3011, HLS2202, MSO221, ISR327, K200, NTXS202, NTXS300, G-505, NUGRAIN430, 50A40, KSH2215, ISV326, G-234, SLP21K0007E, XBX20157, ISV321 e CMSXS3017.

Após a colheita, os grãos foram trilhados, limpos e acondicionados em sacos de papel. Posteriormente, no laboratório, as amostras de cada genótipo foram homogeneizadas e selecionadas para obtenção de amostras com aproximadamente 0,5 kg, que passaram pelo processo de expurgo com o uso de um produto comercial à base de fosfato de alumínio, com o objetivo de eliminar possíveis infestações cruzadas por insetos provenientes do campo, para depois serem utilizadas para os experimentos.

Em seguida, as amostras, com aproximadamente 0,5 kg de grãos de cada genótipo, foram distribuídas em frascos de vidro de 1,7 litro de capacidade, totalizando três repetições para cada cultivar. Após a separação das repetições, cada amostra foi submetida à caracterização qualitativa inicial, em que foram determinados o conteúdo de água e a massa específica aparente dos grãos. Nesse processo, foi utilizada uma estufa para secagem dos grãos, que foram sujeitos a 24 horas na condição de 105 °C. Posteriormente, foram coletados os dados de diferenciação de peso inicial e final dos grãos, para possibilitar cálculo de umidade relativa. Em seguida, após coletados os dados de umidade inicial, cada frasco foi infestado com 50 insetos adultos não sexados de *S. zeamais*, com até 10 dias de emergidos. Os frascos foram então armazenados em condições ambiente, com temperatura média de 26,4 °C e umidade relativa média de 71,1% durante o período de condução do bioensaio, que totalizou 70 dias de armazenagem para cada frasco. Após o período de armazenamento, os frascos foram submetidos à avaliação, realizando-se a contagem do número total de insetos vivos. Além disso, foram avaliados, pelos mesmos métodos iniciais, o conteúdo de água final e a massa específica aparente final dos grãos, após a infestação.

A partir do número total de insetos obtido, calculou-se o índice de suscetibilidade (IS) dos genótipos, utilizando a seguinte fórmula: $IS = \left(\frac{\log F1}{D} \right) \times 100$, em que F1 é o número final de insetos vivos (progênie) e D é o período de desenvolvimento ou período de armazenagem dos ensaios (dias) (Dobie; Kilminster, 1978). A partir da estimativa do IS pela fórmula, o nível de suscetibilidade dos genótipos de sorgo pode ser categorizado como resistente (intervalo de IS entre 0 e 3), moderado (intervalo de IS entre 4 e 7), suscetível (intervalo de IS entre 8 e 10) e muito suscetível (IS > 11) (Dobie; Kilminster, 1978; Hendrival et al., 2019).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições (frascos de vidro) para cada um dos 20 tratamentos (genótipos de sorgo) (três repetições x 20 tratamentos = 60 parcelas), totalizando 60 frascos de vidro utilizados no ensaio.

Os dados obtidos de número total de insetos vivos e índice de suscetibilidade foram submetidos à análise de variância Anova, seguida da comparação das médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e discussão

Os resultados observados expressam diferença significativa no número final de insetos vivos de *S. zeamais* entre os genótipos de sorgo granífero avaliados, demonstrando diferenças significativas de suscetibilidade de infestação entre as cultivares utilizadas no trabalho. (Figuras 1 e 2).

A contagem final dos insetos variou de forma expressiva, com uma diferença média de até 766 insetos entre os genótipos mais infestados e os menos infestados. Os três genótipos que apresentaram menor infestação por insetos, ao final do período de armazenamento de 70 dias, foram 50A40, CMSXS3011 e MEN2305. Em contrapartida, os genótipos que sofreram maior ataque de *S. zeamais* foram G-505, ISV321 e SLP21K0007E (Figuras 1 e 2).

A partir dos dados de infestação, foi calculado o índice de suscetibilidade (IS) para cada variedade utilizada no ensaio. O IS e o número final de insetos apresentaram diferenças significativas dentre os genótipos estudados ($F_{19,51} = 5,16$; $P < 0,0001$) (Figuras 1 e 2).

A variação do IS teve seus índices variando entre 2,8 a 4,5 dentre os genótipos analisados (Figura 2). Neste ensaio (2302G), os genótipos que demonstraram menor IS ou que foram menos suscetíveis ao desenvolvimento de *S. zeamais* foram 50A40, CMSXS3011 e MEN2305; em compensação, houve também materiais mais suscetíveis, ou com maior IS, como G-505, ISV321 e SLP21K0007E (Figura 2).

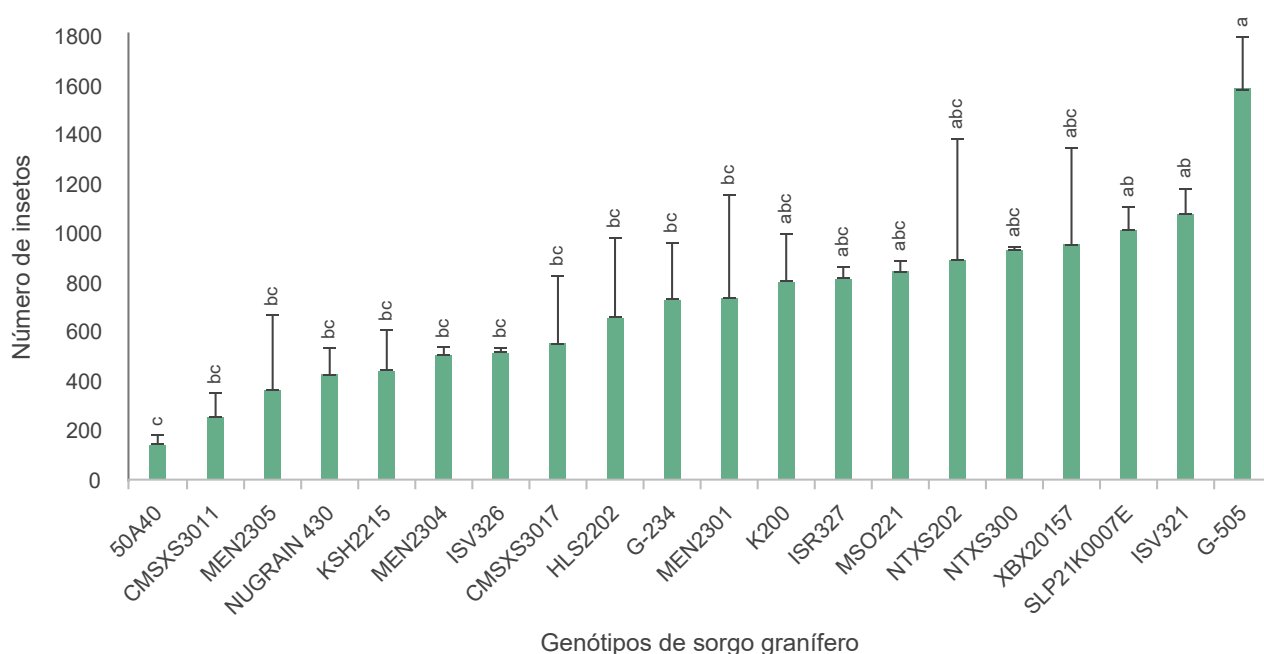


Figura 1. Número de insetos de *Sitophilus zeamais* desenvolvidos em diferentes genótipos de sorgo granífero, no ensaio 2302G.

Apesar da variabilidade significativa no IS dentre os genótipos avaliados, os valores do índice estimados caracterizam os genótipos avaliados na sua maioria como resistentes e moderadamente resistentes a *S. zeamais*, de acordo com a categorização estabelecida na literatura (Dobie; Kilminster, 1978; Hendrival et al., 2019).

Em decorrência da alimentação dos insetos com os grãos afetados, o genótipo que apresentou maior IS também foi o que sofreu maior percentual de perda de matéria seca (Figuras 2 e 3), o que expressa uma queda significativa na qualidade e no valor nutritivo do grão, influenciando negativamente em seu valor agregado.

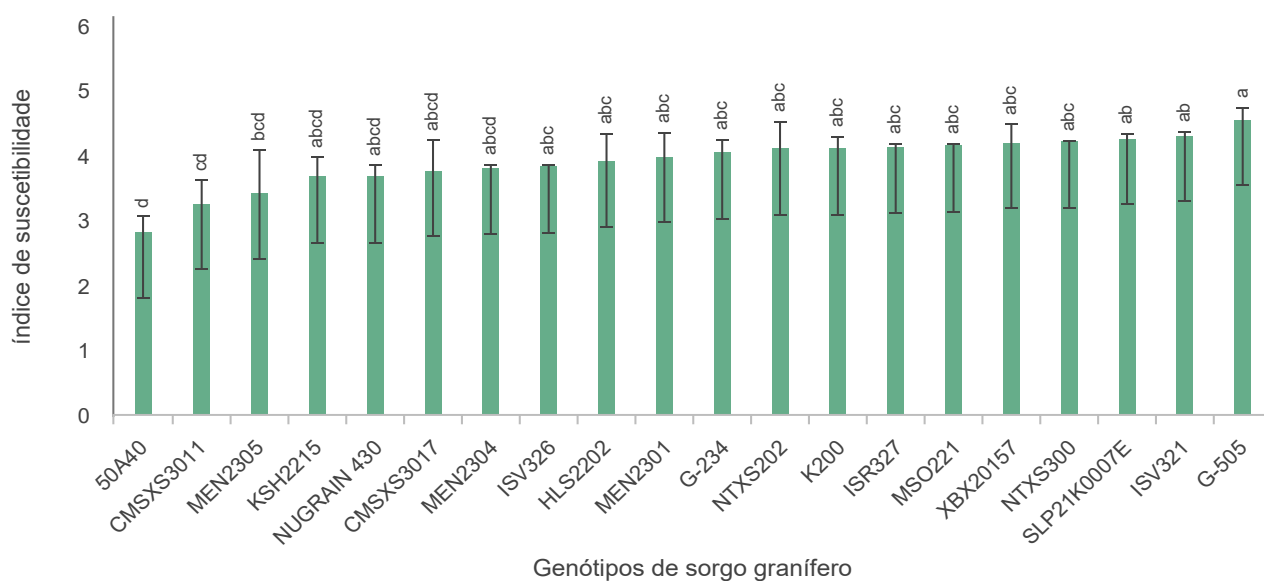


Figura 2. Índice de suscetibilidade (IS) à infestação por *Sitophilus zeamais* em diferentes genótipos de sorgo granífero, do ensaio 2302G.

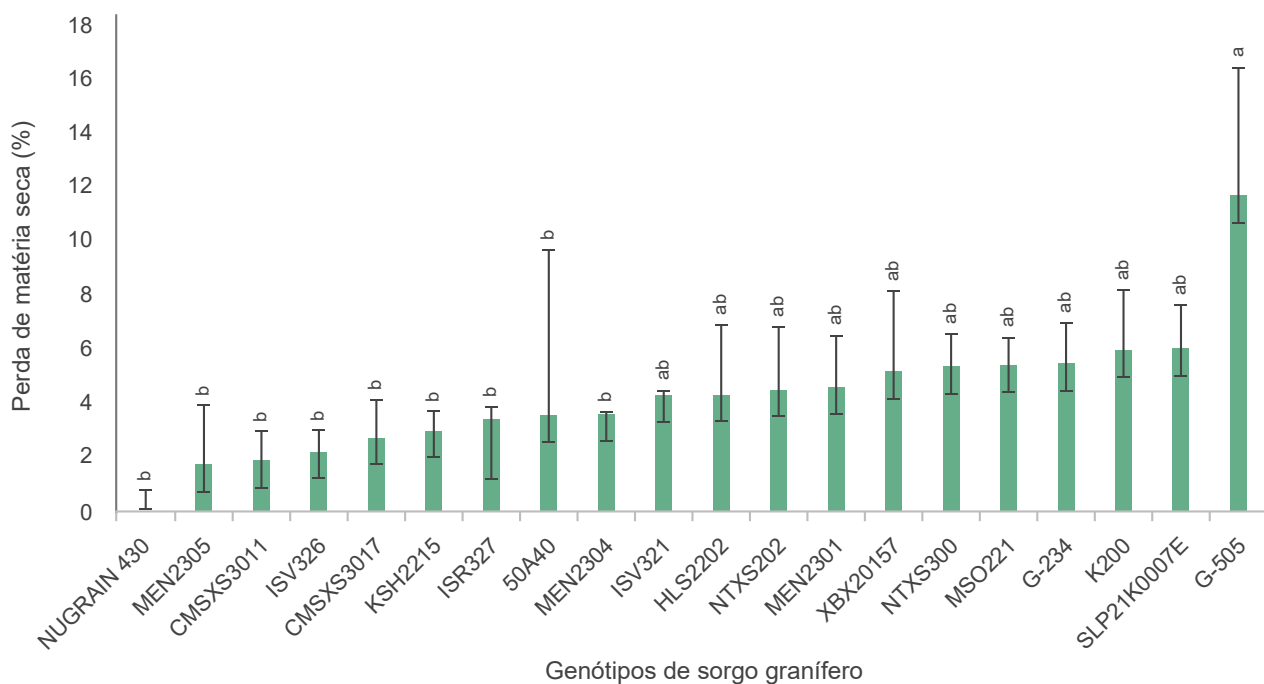


Figura 3. Percentual de perda de massa de matéria seca em médias, nos diferentes genótipos de sorgo granífero, do ensaio 2302G.

Como já pressuposto, o peso volumétrico dos genótipos expressou uma queda após o período de armazenamento pós-infestação (Figura 4). Resultante da perda de massa, essa alteração de peso interfere de forma negativa no valor agregado ao produto. Houve um aumento do percentual de umidade do grão na análise final, em relação à análise inicial (Figura 5), isso ocorre em razão da atividade biológica dos insetos, expondo o grão a uma maior suscetibilidade de infestação por fungos e/ou bactérias.

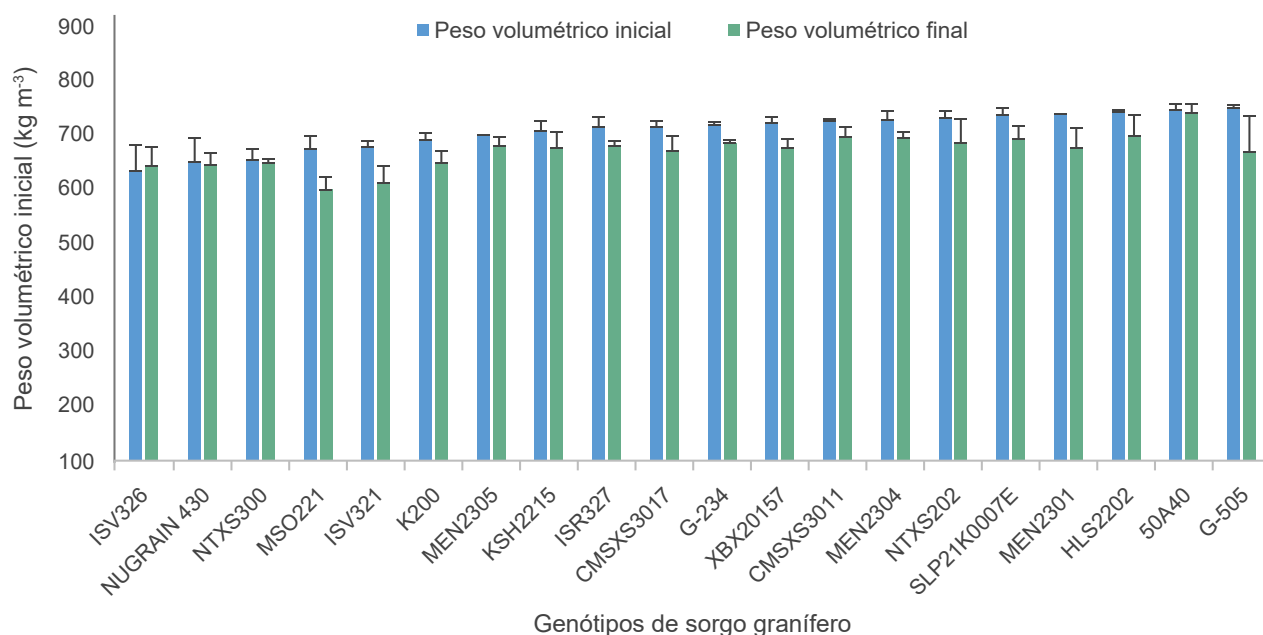


Figura 4. Peso volumétrico inicial e final (Kg m⁻³) nos diferentes genótipos de sorgo granífero, do ensaio 2302G.

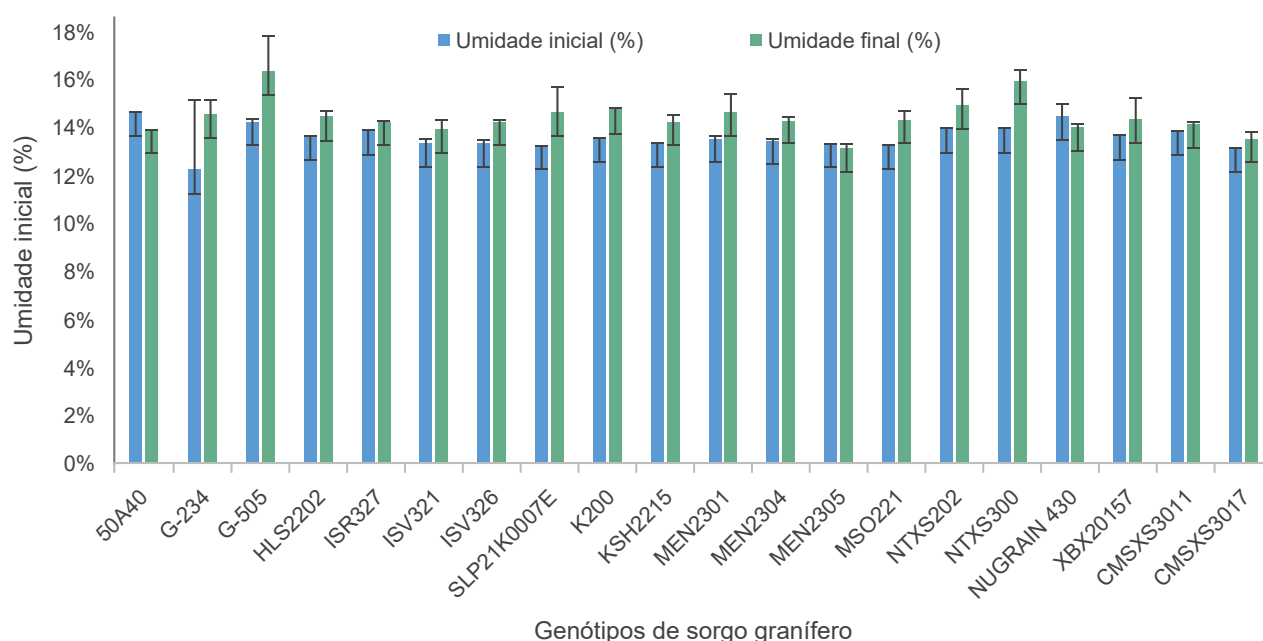


Figura 5. Percentual de umidade inicial do grão, nos diferentes genótipos de sorgo granífero, do ensaio 2302G.

Analisando a matriz de correlação dos dados, gerada com base na análise de correlação (Tabela 1), é possível afirmar que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os resultados do período pré e pós-infestação. A expressão desses resultados é fundamental para entender como um fator atua sobre o outro dentro do ensaio.

Tabela 1. Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis percentual de umidade inicial e final, peso volumétrico inicial e final, insetos, perda de massa de matéria seca e índice de suscetibilidade.

	rep	Umi.I.%	P.Vol.I	P.Vol.F	Umi.F.%	Inseto	Per-daMMS	IS
rep	1							
Umi.I.%	-0,10292	1						
	0,442							
P.Vol.I	0,00328	0,02668	1					
	0,9805	0,8424						
P.Vol.F	-0,06418	0,0762	0,56784	1				
	0,6322	0,5697	<0.0001					
Umi.F.%	-0,19256	0,18471	0,14269	-0,05361	1			
	0,1476	0,1651	0,2853	0,6894				
Inseto	-0,19491	-0,04863	-0,07089	-0,35088	0,77999	1		
	0,161	0,7321	0,6175	0,0108	<0.0001			
PerdaMMS	-0,03088	-0,12435	0,28007	-0,11755	0,73192	0,73444	1	
	0,828	0,3798	0,0443	0,4066	<0.0001	<0.0001		
IS	-0,08718	-0,18198	-0,07662	-0,49505	0,61513	0,9101	0,59396	1
	0,5388	0,1966	0,5893	0,0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	

A suscetibilidade de genótipos de sorgo tem forte influência das características fenotípicas do grão, como espessura do pericarpo, testa, dureza e o tamanho do grão, que contribuem para a resistência da planta hospedeira, por meio do fornecimento de barreira física para penetração de insetos e oviposição (Mwenda et al., 2019).

Os resultados obtidos neste estudo possuem significativa relevância para a cultura do sorgo, especialmente no que tange à caracterização dos materiais oriundos do programa de melhoramento genético, os quais podem apresentar fontes valiosas de resistência para aplicação em futuros materiais comerciais. As informações referentes à suscetibilidade de genótipos ao ataque de *S. zeamais* podem auxiliar na formulação de estratégias de manejo pós-colheita, fornecendo um recurso adicional ao Manejo Integrado de Pragas na armazenagem e contribuindo para a redução das perdas causadas por insetos-praga. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de ampliar os estudos com os materiais mais promissores, especialmente no que se refere à caracterização química, para um melhor entendimento dos possíveis mecanismos de resistência, e além disso, identificar materiais resistentes a outras espécies de pragas de grãos armazenados.

Conclusões

A resposta dos genótipos de sorgo analisados neste estudo sugere que eles diferem entre si quanto à suscetibilidade ao caruncho-do-milho, alguns com potencial para ser boas fontes de resistência ao inseto e serem introduzidas em técnicas de melhoramento genético de sorgo. Contudo, são necessários mais estudos para caracterizar a composição química e a ação dos compostos fenólicos presentes nos grãos de cada cultivar.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa Pibic.

Referências

- ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos: safra 2023/24: 11º levantamento, v. 11, n. 11, ago. 2024. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 7 jun. 2024.
- CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; SERNA-SALDÍVAR, S. O.; GARCÍA-LARA, S. Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Journal of Stored Products Research**, v. 54, p. 34-40, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.04.003>.
- DOBIE, P.; KILMINSTER, A. M. The susceptibility of triticale to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus granarius* (L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 14, n. 2/3, p. 87-93, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-474X\(78\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0022-474X(78)90003-6).
- HENDRIVAL, H.; PUTRA, R.; ARYANI, D. S. Susceptibility of sorghum cultivars to *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) during storage. **Planta Tropika**, v. 7, n. 2, p. 110-116, 2019.
- MENEZES, C. B. de; COELHO, A. M.; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MENDES, S. M.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; RODRIGUES, J. A. S. É possível aumentar a produtividade de sorgo granífero no Brasil? In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. cap. 4, p. 106-139. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1095397/1/Cap4epossivel.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos e sementes armazenadas. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. (ed.). **Armazenagem de grãos**. Jundiaí: Instituto Biogeneziz, 2018. p. 363-381.
- MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; PIMENTEL, M. A. G. Manejo de pragas. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (ed.). **Sorgo**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 9, p. 207-241.
- MWENDA, E. T.; RINGO, J. H.; MBEGA, E. R. The implication of kernel phenology in convening resistance to storage weevil and varietal development in sorghum. **Journal of Stored Products Research**, v. 83, p. 176-184, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.06.010>.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024a.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12:** consumo e produção responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 13 maio 2024b.

PIMENTEL, M. A. G.; MENDES, S. M.; OLIVEIRA, I. R. de. **Indicações técnicas para controle de pragas e armazenamento de grãos de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 38 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 251). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1109546/1/circ251.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

QUEIROZ, V. A. V.; OLIVEIRA, F. C. E. de; MENEZES, C. B. de; RODRIGUES, J. A. dos S. **Sorgo:** cereal ancestral bem atual: coletânea de receitas sem glúten com sorgo integral. Brasília, DF, 2020. 61 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126619/1/Sorgo-cereal-ancestral-coletanea-de-receitas.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

Seleção e avaliação de microrganismos antagonistas a *Macrophomina phaseolina* em milho⁽¹⁾

Maria Cristina Kalil Rocha⁽²⁾, Micaele Rodrigues de Souza⁽³⁾, Rodrigo Veras da Costa⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela Simbiose-AGRO e CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Instituto Federal do Tocantins, bolsista Pibic/CNPq. ⁽³⁾ Bolsista, Embrapa Milho e Sorgo. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – O fungo *Macrophomina phaseolina*, agente causal da podridão-de-carvão-do-milho, infecta mais de 500 espécies de plantas e é capaz de permanecer viável no solo por muitos anos. No milho, o patógeno causa danos que levam a perdas de até 25 sacas por hectare. Diante da dificuldade de manejo da doença, o objetivo deste trabalho foi selecionar e testar potenciais antagonistas para o biocontrole de *M. phaseolina* em milho. In vitro, avaliou-se a compatibilidade entre cepas de antagonistas. Em campo, o híbrido MG447 foi semeado na safrinha de 2024, na fazenda Invernadinha, no município de Paraíso, TO. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas possuíam quatro linhas de 5 m, com 0,5 m de espaçamento entre linhas e média de 65 mil plantas/ha. Os tratamentos foram: T1 (*Bacillus* spp. cepa 1); T2 (*Bacillus* spp. cepa 2); T3 (*Paenibacillus* spp. cepa 3); T4 (*Pseudomonas* spp. cepa 4); T5 (*Bacillus* spp. cepa 5); T6, T7 e T8 (*Actinomiceto* cepa 6, 7 e 8 respectivamente); T9, T10, T11, T12 e T13 (*Trichoderma* spp. isolados 9, 10, 11, 12 e 13 respectivamente); T14 (testemunha inoculada apenas com o patógeno); e T15 (testemunha não inoculada). Os antagonistas foram inoculados via tratamento de sementes, e o patógeno foi inoculado pelo método do palito. Quarenta e dois dias após a inoculação do patógeno, realizou-se coleta de colmo para atribuição de notas de severidade de doença por meio de escala diagramática. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($P \leq 0,05$). As médias de severidade diferiram em três grupos. O tratamento T15 apresentou a menor média (1,56), seguido de T10 (5,33). As maiores médias foram T11 (7,9) e T14 (7,73). Os tratamentos T1, T2, T3, T5, T10 e T12 integram o grupo com a menor média de severidade doença de colmo (média do grupo = 6,01). Das combinações testadas entre cepas, observou-se que o isolado 4 (*Pseudomonas* spp.) foi incompatível com todos os demais e o isolado que apresentou maior compatibilidade foi o 3 (*Paenibacillus* spp), sendo incompatível apenas com o isolado 4 (*Pseudomonas* spp.). Portanto combinações envolvendo a cepa 3 se mostraram promissoras para o biocontrole de *M. phaseolina*.

Termos para indexação: *Zea mays*, bioinsumo, controle biológico.

Selection and evaluation microorganisms antagonistic to *Macrophomina phaseolina* in maize

Abstract – The fungus *Macrophomina phaseolina*, the causal agent of charcoal rot in corn, infects more than 500 plant species and is capable of remaining viable in the soil for many years. In corn, the pathogen causes damage leading to losses of up to 25 bags per hectare (approximately 1,500 kg/ha). Given the difficulty in managing the disease, the objective of this study was to select and test potential antagonists for the biocontrol of *M. phaseolina* in corn. In vitro, the compatibility between antagonist strains was evaluated. In the field, the MG447 hybrid was sown in the safrinha (second season) of 2024, at the Invernadinha farm, in the municipality of Paraíso, State of Tocantins, Brazil. The experimental design was a randomized block design with four replications. The plots consisted

of four 5-meter rows, with 0.5 m spacing between rows and an average of 65,000 plants/ha. The treatments were: T1 (*Bacillus* spp. strain 1); T2 (*Bacillus* spp. strain 2); T3 (*Paenibacillus* spp. strain 3); T4 (*Pseudomonas* spp. strain 4); T5 (*Bacillus* spp. strain 5); T6, T7, and T8 (*Actinomycete* strains 6, 7, and 8 respectively); T9, T10, T11, T12, and T13 (*Trichoderma* spp. isolates 9, 10, 11, 12, and 13 respectively); T14 (Inoculated control, with pathogen only); T15 (Non-inoculated control). The antagonists were inoculated via seed treatment and the pathogen was inoculated using the toothpick method. Forty-two days after pathogen inoculation, stover collection was performed to assign disease severity scores using a diagrammatic scale. The results were subjected to analysis of variance and the treatment means were grouped by the Scott-Knott test. The severity means differed into three groups. Treatment T15 presented the lowest mean (1.56), followed by T10 (5.33). The highest means were T11 (7.9) and T14 (7.73). Treatments T1, T2, T3, T5, T10, and T12 composed the group with the lowest mean stalk rot disease severity (group mean = 6.01). Of the strain combinations tested, it was observed that isolate 4 (*Pseudomonas* spp.) was incompatible with all others, and the isolate that presented the highest compatibility was 3 (*Paenibacillus* spp.), being incompatible only with isolate 4 (*Pseudomonas* spp.). Therefore, combinations involving strain 3 proved promising for the biocontrol of *M. phaseolina*.

Index terms: *Zea mays*, bioinput, biological control.

Introdução

Macrophomina phaseolina é um fungo patógeno de solo pertencente à família Botryosphaeriaceae, considerado um dos mais importantes patógenos de plantas presentes em países tropicais e subtropicais, de clima árido e semiárido (Bernardes, 2023). O patógeno possui potencial para infectar mais de 500 espécies de plantas, dentre elas, culturas que têm elevado valor agrônomo, como milho, sorgo, soja, algodão e outras diversas (Gupta et al., 2012; Mendoza et al., 2015). Essa característica faz com que a rotação de culturas seja ineficiente para a redução do potencial de inóculo do fungo.

O cultivo de milho (*Zea mays* L.) está entre as mais importantes atividades agrícolas desenvolvidas em todo o mundo, uma vez que a cultura se estabeleceu como carro-chefe de grandes cadeias de produção, seja no ramo da nutrição humana e animal, seja na indústria química, farmacêutica e de combustíveis (Kang et al., 2023).

No milho, a *M. phaseolina* causa a doença conhecida como podridão-de-carvão, responsável por grandes perdas nos sistemas de produção em todo o mundo. O estado do Tocantins tem revelado a necessidade de atenção à doença, frente à elevada ocorrência e ao grande potencial de perdas para a região, especialmente em períodos mais secos (Costa et al., 2019).

Diante da dificuldade de se empenhar medidas efetivas de controle a *M. phaseolina*, bem como sua agressividade e danos causados à cultura do milho, é de extrema importância a condução de pesquisas, cujo objetivo seja o estabelecimento de tecnologias e estratégias alternativas para o controle do patógeno (Santos et al., 2010). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a compatibilidade entre potenciais antagonistas a *M. phaseolina* e testar em campo o desempenho desses isolados, visando o controle biológico da podridão-de-carvão na cultura do milho.

Por apresentar informações inéditas e atualizadas sobre a viabilidade técnica de manejo da podridão-de-carvão (*M. phaseolina*), apresentando uma forma de manejo ecologicamente correta e sustentável de um dos principais patógenos que afetam inúmeras culturas agrícolas de importância

social e econômica para o Brasil, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, mais especificamente para com a meta 2.4:

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

Teste de Compatibilidade

O teste foi conduzido no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, no município de Palmas, TO. Para a análise de compatibilidade, foram selecionadas 8 cepas de bactérias antagonistas (cepas 1, 2 e 5 - *Bacillus* spp.; cepa 3 - *Paenibacillus*; cepa 4 - *Pseudomonas*; cepas 6, 7 e 8 - *Actinomicetos*) pertencentes à Coleção de Microrganismos da Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG). O critério para a seleção das cepas foi seu desempenho nos ensaios in vitro (pareamento e compostos voláteis) realizados previamente no Laboratório de Fitopatologia, que comprovaram o antagonismo à *M. phaseolina*.

Os microrganismos foram cultivados em meio líquido TSB (Trypticase Soy Broth) e mantidos por 48 horas em agitação a 140 rpm e temperatura de 28 °C. Em seguida, padronizaram-se as suspensões das cepas para a concentração de 108 UFC/ml, através de espectrofotometria.

Para avaliar a compatibilidade, todas as cepas foram combinadas entre si formando 28 pares. Em cada teste, os pares foram adicionados em placas de Petri contendo meio TSA (Tryptic Soy Agar) através de dois métodos diferentes de aplicação. A primeira cepa aplicada pelo método de espalhamento, em que foram depositados na placa de Petri 100 µl da sua suspensão, seguida do espalhamento com alça de Drigalski; em consequente, foi utilizado o método em gotas para a aplicação da segunda cepa, sendo depositadas três gotas de 20 µl (cada) sobre o primeiro isolado espalhado na placa.

O método de espalhamento tem a finalidade de fazer com que o isolado fique amplamente distribuído sobre a placa de Petri, e o método em gotas objetiva a concentração em uma região específica da placa, permitindo que sejam identificadas as interações locais e se há a ocorrência de inibição de crescimento entre dois isolados. Desse modo, cada uma das 28 combinações de antagonistas foi testada de duas maneiras diferentes, alternando os métodos de aplicação entre os isolados de cada par. Portanto, o ensaio contou com 56 tratamentos e três repetições, totalizando 168 placas. Após 5 dias de preparo do teste, as placas foram avaliadas quanto ao crescimento dos microrganismos e à formação de halos de inibição.

Teste de Tratamento de Sementes

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Pesca, Aquicultura e Sistemas Agrícolas, localizada na Fazenda Invernadinha, coordenadas geográficas 10°11'09" S e 48°41'12" W,

no município de Paraíso do Tocantins, TO. O plantio foi realizado na safrinha de 2023, com o híbrido K7510, em razão da baixa resistência à *M. phaseolina*, e os tratos culturais seguiram o padrão da fazenda.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro linhas de 5 metros, com 0,5 m de espaçamento entre linhas e média de 65 mil plantas/ha. Foram consideradas como área útil da parcela somente as duas linhas centrais, sendo as duas linhas laterais definidas como borda.

Os antagonistas foram obtidos da coleção de microrganismos da Embrapa Milho e Sorgo. A inoculação das sementes foi realizada com oito diferentes cepas de bactérias e cinco isolados de fungo. Os tratamentos foram constituídos por: T1 - sementes tratadas com *Bacillus* (cepa 1); T2 - *Bacillus* (cepa 2); T3 - *Paenibacillus* (cepa 3); T4 - *Pseudomonas* (cepa 4); T5 - *Bacillus* (cepa 5); T6 - *actinomiceto* (cepa 6); T7 - actinomiceto (cepa 7); T8 - actinomiceto (cepa 8); T9 - *Trichoderma* (isolado 9); T10 - *Trichoderma* (isolado 10); T11 - *Trichoderma* (isolado 11); T12 - *Trichoderma* (isolado 12); T13 - *Trichoderma* (isolado 13); T14 - testemunha inoculada com *M. phaseolina*; e T15 - testemunha não inoculada.

Para o preparo do inóculo das bactérias antagonistas, as cepas foram cultivadas em meio líquido LB + sais (Luria Bertani), no intuito de estimular a esporulação. Os microrganismos foram mantidos por 48 horas em agitação a 140 rpm e temperatura de 28 °C. As suspensões foram padronizadas à concentração de 108 UFC/ml, através de espectrofotometria. Os inóculos dos isolados de fungo foram preparados com água estéril e padronizados à concentração de 10⁶ esporos/ml, pela contagem de esporos com Câmara de Neubauer.

Para o tratamento de sementes, foram empregados 2 ml de suspensão padronizada e 1 g de biomafix para 100 g de sementes. O tratamento de sementes foi feito no dia anterior ao plantio. A inoculação de *M. phaseolina* foi realizada em todos os tratamentos, com exceção do tratamento 15 (testemunha não inoculada), 42 dias após o tratamento de sementes. O patógeno foi inoculado nas plantas pelo método do palito, por raspagem de placas de Petri com cultivo do fungo. As plantas do tratamento T15 (testemunha não inoculada) receberam a inserção de palitos estéreis.

Para a avaliação de severidade, os colmos de todos os tratamentos foram cortados entre o entrenó da base e o entrenó de inserção da espiga e levados ao Laboratório de Fitopatologia, onde foram abertos com cortes longitudinais para avaliação da extensão das lesões, a partir da escala diagramática estabelecida por Nicoli et al. (2015). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

No teste de compatibilidade, todas as placas foram avaliadas quanto ao padrão de desenvolvimento dos microrganismos combinados. A incompatibilidade foi detectada através da formação de halos de inibição no entorno dos isolados aplicados pelo método em gotas. Observou-se que o isolado 4 foi incompatível com todos os demais. O antagonista que apresentou maior compatibilidade foi o isolado 3, sendo incompatível apenas com o isolado 4 (Tabela 1).

Lutz et al. (2004) reforçaram a importância da combinação entre microrganismos a fim de se potencializar o efeito de biocontrole almejado, porém é essencial que esses microrganismos sejam capazes de exercer uma atuação complementar, e não promovam antagonismo entre si.

Tabela 1. Resultado do teste de compatibilidade entre cepas antagonistas à *M. phaseolina* avaliados por meio do método de espalhamento e método de gotas. O sinal positivo (+) indica compatibilidade entre a combinação e o sinal negativo (-) indica incompatibilidade. Laboratório de Fitopatologia, Palmas, TO, 2023.

Cepas	1 *	2	3	4	5	6	7	8
1		+	+	-	+	+	-	-
2	+		+	-	+	+	-	-
3	+	+		-	+	+	+	+
4	-	-	-		-	-	-	-
5	+	+	+	-		-	-	-
6	+	+	+	-	-		+	+
7	-	-	+	-	-	+		+
8	-	-	+	-	-	+	+	

*Valores acima da diagonal referem-se ao método de espalhamento.

** Valores abaixo da diagonal referem-se ao método de gotas.

No teste de tratamento de sementes, foram observados três grupos de médias de severidade que se diferenciaram estatisticamente. A menor média foi obtida com a testemunha não inoculada. O segundo grupo foi constituído por quatro cepas e dois isolados, entre eles *Bacillus*, *Paenibacillus* e *Trichoderma*. Já o terceiro grupo, foi formado por oito tratamentos, entre eles a testemunha inoculada com o patógeno (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de severidade de podridão-de-carvão (*Macrophomina phaseolina*) em tratamento de sementes de milho com diferentes cepas de antagonistas e avaliados nos entrenós acima do inoculado. Fazenda Invernadinha, Paraíso do Tocantins, TO, 2023.

Tratamento	Média de severidade
T15	1,56 a
T10	5,33 b
T1	5.80 b
T5	6.05 b
T2	6.05 b
T3	6.30 b
T12	6.55 b
T8	7.02 c
T4	7.06 c
T13	7.26 c
T6	7.28 c
T9	7.37 c
T7	7.50 c
T14	7.73 c
T11	7.90 c

As três maiores médias de severidade foram obtidas pelos tratamentos T11 (7,9) T14 (7,7325) e T7 (7,5). Já as três menores médias de severidade foram expressas nos tratamentos T15 (1,5625), T10 (5,3325) e T1 (5,8) (Tabela 2).

Conclusões

Das combinações testadas entre cepas antagonistas, catorze mostraram-se potencialmente promissoras para utilização no controle biológico de doenças de plantas, apontando um possível efeito sinérgico que deverá ser comprovado com experimentos futuros conduzidos em condições de campo. No tratamento de sementes, as cepas 1, 2, 3 e 5, e os isolados 10 e 12 reduziram a severidade de doença de colmo. Os resultados servem como referência para trabalhos futuros, que possibilitarão a formulação de um bioproduto para o controle de *M. phaseolina* na cultura do milho.

Referências

- BERNARDES, F. P. **Resistência de híbridos de milho à podridão de macrophomina e à antracnose do colmo em dois ambientes**. 2023. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/20746>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; COTA, L. V.; CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, A. R. M.; TUBIANA, D.; EVANGELISTA, B. A.; RIBEIRO, I. L. **Macrophomina phaseolina em milho safrinha**: levantamento da incidência e perdas na produtividade no estado do Tocantins. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 202). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1117367>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- GUPTA, G. K.; SHARMA, S. K.; RAMTEKE, R. Biology, epidemiology and management of the fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with especial reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Journal of Phytopathology**, v. 160, n. 4, p. 167-180, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01884.x>.
- KANG, B.; LIU, Y.; YANG, R.; LIANG, S. Composition and physicochemical properties of corn wax. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 100, n. 10 p. 783-790, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/aocs.12717>.
- LUTZ, M. P.; WENGER, S.; MAURHOFER, M.; DEFAGO, G.; DUFFY, B. Signaling between bacterial and fungal biocontrol agents in a strain mixture. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 48, n. 3, p. 447-455, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.03.002>.
- MENDOZA, J. L. H.; PÉREZ, M. I. S.; PRIETO, J. M. G.; VELÁSQUEZ, J. D. Q.; OLIVARES, J. G. G.; LANGARICA, H. R. G. Antibiosis of *Trichoderma* spp strains native to northeastern Mexico against the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 46, n. 4, p. 1093-1101, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-838246420120177>.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.
- NICOLI, A.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; ZAMBOLIM, L.; LANZA, F. E.; GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Validação de escala diagramática para quantificação da severidade da antracnose do colmo do milho. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1720-1726, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141510>.

Caracterização da resposta de híbridos de milho a inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas sob condição controlada⁽¹⁾

André Luís Martins Maia⁽²⁾, João Vitor Silveira Alves de Avelar⁽³⁾, Vitória Palhares Ribeiro⁽⁴⁾, Rafaela Ferreira de Ávila Souza⁽⁵⁾, Roberto dos Santos Trindade⁽⁶⁾, Ivanildo Evódio Marriel⁽⁶⁾ e Sylvia Moraes de Sousa Tinôco⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo Embrapa/Finep/CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Centro Universitário de Sete Lagoas, bolsita Pibic na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Estudante de mestrado, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Capes na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Bolsista na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾ Estudante de graduação, Centro Universitário de Sete Lagoas, bolsitas Pibic na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁶⁾ Pesquisador(a), Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) são uma alternativa sustentável para aumentar o crescimento vegetal e a produtividade. No entanto, a interação entre plantas e BPCPs pode variar dependendo das espécies e dos genótipos envolvidos, tornando crucial o estudo das características das estirpes bacterianas e a resposta dos genótipos de milho à inoculação. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta de híbridos de milho à inoculação com duas cepas de *Azospirillum* sp. em condições controladas. Para isso, 36 híbridos de milho em pré-lançamento ou comerciais foram crescidos em solução nutritiva após a inoculação ou não na semente. As plântulas foram analisadas quanto a morfologia radicular e peso seco. A análise de variância das características morfológicas do sistema radicular e do peso seco para os híbridos de milho revelou variabilidade significativa para genótipo, experimento e inoculação para a maioria das características. Foram observadas respostas variadas à inoculação com as cepas de *Azospirillum* sp. O genótipo 1R2546 mostrou resposta positiva para a maioria das características analisadas. No entanto, é fundamental considerar o genótipo da planta para aumentar a eficácia da colonização pelas BPCPs.

Termos para indexação: *Zea mays*, *Azospirillum*, bioinoculante, fenotipagem, raiz.

Characterization of the response of maize hybrids to inoculation with plant growth-promoting bacteria under controlled conditions

Abstract – Plant growth-promoting bacteria (PGPBs) are a sustainable alternative to enhance plant growth and productivity. However, the interaction between plants and PGPBs can vary depending on the species and genotypes involved, making it crucial to study the characteristics of bacterial strains and the response of maize genotypes to inoculation. This study aimed to evaluate the response of maize hybrids to inoculation with two strains of *Azospirillum* sp. under controlled conditions. To achieve this, 36 pre-commercial or commercial maize hybrids were grown in nutrient solution after seed inoculation or non-inoculation. The seedlings were analyzed for root morphology and dry weight. The variance analysis of the morphological characteristics of the root system and dry weight for the maize hybrids revealed significant variability for genotype, experiment, and inoculation in most of the traits. Varied responses to inoculation with *Azospirillum* sp. strains were observed. The 1R2546 genotype showed a positive response in most of the characteristics analyzed. Thus, it is essential to consider the plant genotype to enhance the effectiveness of colonization by PGPBs.

Index terms: *Zea mays*, *Azospirillum*, bioinoculant, phenotyping, root.

Introdução

O milho é um dos cereais mais consumidos e produzidos atualmente, com o Brasil figurando entre os maiores produtores e exportadores desse grão. Para manter a alta produtividade do milho, o uso de fertilizantes é amplamente empregado. No entanto, o uso excessivo de fertilizantes não só aumenta os custos de produção, mas também pode ter efeitos negativos no meio ambiente. Diante disso, a busca por alternativas que minimizem o impacto ambiental e promovam a sustentabilidade é de extrema importância. Os microrganismos promotores de crescimento surgem como uma alternativa atrativa e viável nesse contexto. Entre os diversos microrganismos utilizados na produção de bioinoculantes, destacam-se as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) (Parnell et al., 2016).

Um dos gêneros de bactérias frequentemente utilizados na produção de inoculantes é o *Azospirillum* sp. Esse gênero é amplamente reconhecido por suas características multifuncionais na promoção do crescimento vegetal, atribuídas a mecanismos como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de nutrientes e produção de fitormônios, especialmente ácido indol-3-acético (AIA) e outros reguladores de crescimento vegetal (Cassán et al., 2014).

Embora os bioinoculantes tenham alcançado grande sucesso, diversos fatores podem influenciar a interação entre plantas e microrganismos. As características moduladas pelas bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) variam conforme a interação com diferentes espécies e genótipos inoculados (Vidotti et al., 2019; Velloso et al., 2020). Por isso é essencial compreender as características das estirpes e a resposta à inoculação com BPCPs em diferentes genótipos de milho. O objetivo deste trabalho, portanto, foi avaliar híbridos de milho em pré-lançamento e comerciais quanto à sua responsividade à inoculação por bactérias promotoras de crescimento de plantas em condições controladas.

Por incentivar o uso de bioinoculantes como alternativa sustentável aos fertilizantes químicos, promovendo a eficiência no uso de recursos naturais e a redução de impactos ambientais, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável – ODS 12 da Agenda 2030, proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU): “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”, mais especificamente para com a meta 12.2, que estabelece “até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais” (Nações Unidas, 2024), ao demonstrar o potencial de bactérias promotoras de crescimento de plantas (*Azospirillum* sp.) em favorecer sistemas agrícolas mais sustentáveis e de menor impacto ambiental.

Material e métodos

Foram avaliados 36 híbridos e comerciais de milho (Tabela 1) inoculados com duas estirpes *Azospirillum* sp. (Ribeiro et al., 2022) da Coleção de Microrganismos Multifuncionais e Fitopatogênicos da Embrapa Milho e Sorgo. O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições com três plântulas cada, sendo dividido em três experimentos com quatro testemunhas.

Tabela 1. Híbridos de milho avaliados em condições controladas.

Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3
1 1Q2366	11 1R2529	23 1Q2359
2 1Q2403	12 3R2593	24 1R2629
3 1P2215	13 1R2526	25 1Q2425
4 3P2200	14 1R2546	26 BRS1055
5 1Q2370	15 1R2631	27 1R2540
6 1Q2473	16 1R2530	28 1R2620
7 1P2206	17 2R2642	29 1R2539
8 1Q2461	18 1F640PRO2	30 1R2622
9 1R2628	19 1P2181	31 1R2521
10 1Q2423	20 1Q2400	32 1Q2427
	21 2R2643	
	22 1N1958	
T1 DKB390VTPPro2	T1 DKB390VTPRO2	T1 DKB390VTPRO2
T2 BRS3042VTPRO2	T2 BRS3042VTPRO2	T2 BRS3042VTPRO2
T3 SHS7930VTPPro2	T3 SHS7930VTPRO2	T3 SHS7930VTPRO2
T4 AG8088VTPPro2	T4 AG8088VTPRO2	T4 AG8088VTPRO2

*T1-T4: Testemunhas experimentais.

As estirpes de *Azospirillum* foram crescidas separadamente em TSB, por 3 dias a 28 ± 2 °C, sob agitação constante de 120 rpm. Após o período de incubação, as culturas foram centrifugadas por 10 minutos, a 6.000 rpm e ressuspensas em solução salina [0,85% (m/v) NaCl] e ajustadas à absorbância igual a 1, a 540 nm, equivalentes a 4×10^9 UFCmL⁻¹.

A inoculação foi feita nas sementes de milho, na dose de 150 mL ha⁻¹, utilizando solução com *Azospirillum* (0,125 mL) e Biomafix (0,01 g) para cada 50 sementes. As sementes foram secas em temperatura ambiente e colocadas em papel de germinação. Posteriormente foram germinadas por 24 horas e transferidas para câmara de crescimento por 72 horas. Após este período, plântulas uniformes foram transplantadas para um sistema *floating*, formado por bandejas contendo oito litros de solução nutritiva Hoagland meia força pH 5,65 (Liu et al., 1998), em copos de polietileno, dispostos em placas plásticas. A cada três dias, a solução nutritiva foi substituída. As bandejas foram mantidas em câmara de crescimento sob condições controladas, com temperatura diurna de 27 °C e noturna de 20 °C, fotoperíodo de 12 horas e aeração contínua, onde permaneceram por 16 dias.

O sistema radicular foi separado da parte aérea e avaliado com o software Winrhizo v. 4.0 (Regent Systems, Quebec, Canadá), acoplado ao escâner Epson XL 10000 equipado com unidade de luz adicional (TPU), a fim de analisar parâmetros da morfologia radicular, de acordo com Sousa et al. (2012). Posteriormente, a parte aérea e raízes foram secas em estufa com circulação de ar a 65 °C até atingirem peso constante, e em seguida o peso seco foi aferido em balança de precisão.

Todas as diferenças entre as médias ajustadas dos tratamentos foram comparadas para cada característica utilizando o teste de Tukey com nível de significância 5% do programa R (versão 3.6.1), utilizando o pacote Agricolae (Mendiburu, 2015).

Resultados e discussão

A análise de variância das características morfológicas do sistema radicular e do peso seco para os 36 híbridos de milho avaliados com e sem inoculação com duas estirpes de BPCPs mostrou que há variabilidade para genótipo e experimento para todas as características e para inoculação para todas as características, com exceção de AS, AS1 e PSR. Diversas interações entre genótipo, inoculação e experimento foram significativas (Tabela 2). O coeficiente de variação foi de médio a alto.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as médias das características radiculares e de peso seco para 36 genótipos de milho inoculados com duas cepas de BPCPs.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio							
		C (cm)	AS (cm ²)	AS1 (cm ²)	AS2 (cm ²)	AS3 (cm ²)	PST (g)	PSPA (g)	PSR (g)
Genótipo	35	92457***	1547,36***	3011,6***	77,804***	120,91***	53,997***	0,18027***	0,4585***
Experimento	1	64690.	2193,76*	11482,7***	127,898**	499,23***	514029***	1,04638***	3,3665***
Inoculação	2	84716.	145,78	67,3	194,684**	124,29.	2549*	0,02626.	0,0124
Genótipo*Inoculação	35	27237	688,64	192,2	53,534***	77,27***	1145***	0,02793***	0,0114*
Genótipo*Experimento	6	66505**	1801,20***	257,6.	101,801***	59,86.	2207***	0,02543***	0,0267**
Experimento*Inoculação	2	58548*	850,34	438,2*	99,305**	25,91	240	0,03329**	0,0003
Genótipo*Experimento*Inoculação	6	65864**	1792,10***	391,2**	119,858***	75,91*	6988***	0,01184.	0,0168*
Erro	190	22516	422,63	130,9	19,054	31,57	475	0,00638	0,0070
Total	277	482533	9441,81	15971,7	793,938	1014,95	527686,997	1,35778	3,8996
Coeficiente de variação (%)		19,33	18,69	22,22	24,38	36,01	30,73	19,86	25,06

Grau de liberdade (GL), comprimento radicular total (C) (cm), área de superfície radicular total (AS) (cm²), área de superfície de raízes com diâmetro entre 0 e 1,0 mm (AS1), 1,0 a 2,0 mm (AS2) e maior do que 2 mm (AS3) (cm²), peso seco de parte aérea (PSPA) (g), peso seco de raiz (PSR) (g), peso seco total (g), coeficiente de variação (CV%), ns – não significativo, * = significativo a 5%, ** = significativo a 1%, *** = significativo a 0,1% de probabilidade pelo Teste LSD.

Foram observadas respostas variáveis para a inoculação com as cepas de *Azospirillum* sp. O genótipo 1R2546 apresentou resposta positiva para as características analisadas, exceto para a AS3 (Figura 1), indicando que houve uma predominância de raízes finas e superfinais, que podem auxiliar na absorção de nutrientes do solo. Os genótipos na parte inferior do mapa de calor apresentaram respostas negativas e/ou para todas as características analisadas (Figura 1).

Na associação planta-bactéria, embora exista um custo inicial para planta, as bactérias podem contribuir significativamente nos estágios posteriores do desenvolvimento radicular, promovendo uma maior absorção de nutrientes e compensando esse custo inicial. A variabilidade genética desempenha um papel fundamental nessa associação, pois a eficácia da colonização pelas BPCPs varia de acordo com os genótipos (Vidotti et al., 2019).

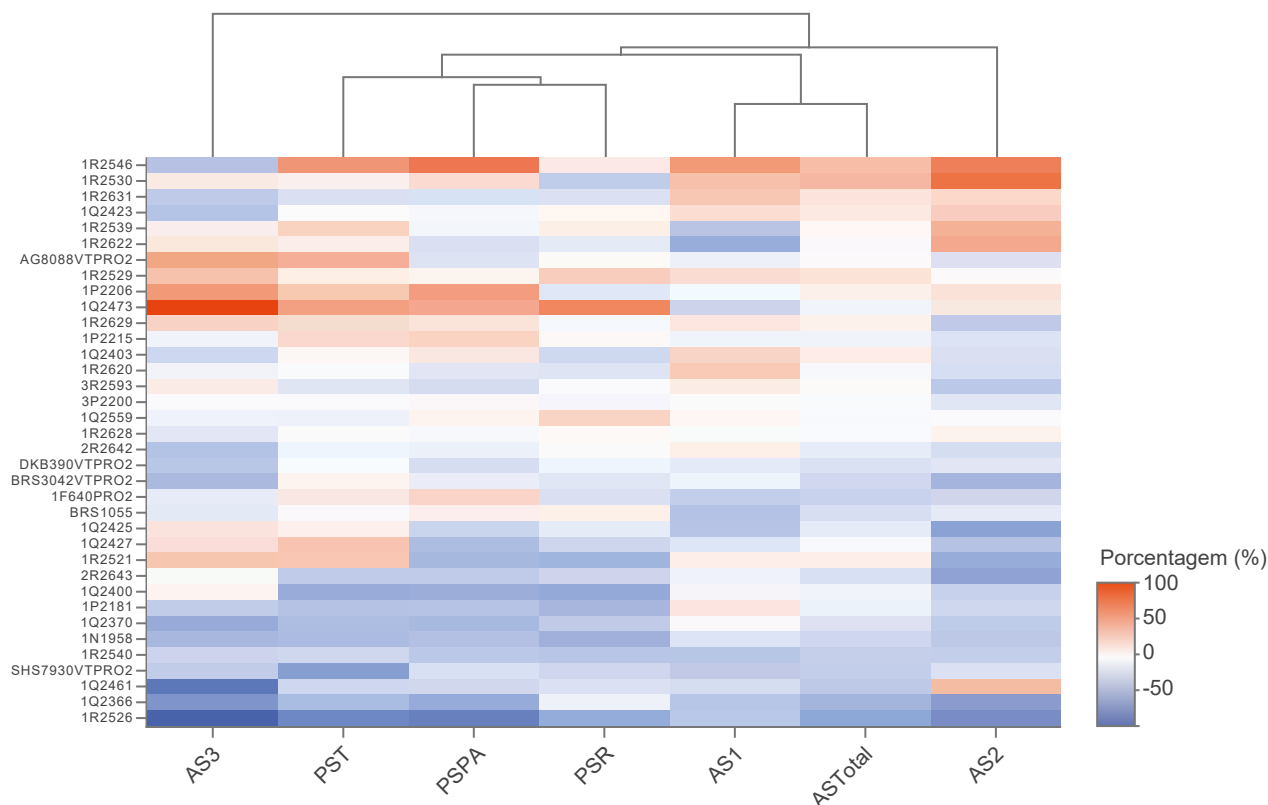


Figura 1. Mapa de calor de genótipos de milho inoculados com duas cepas de BPCPs comparados com controle não inoculado. C: comprimento total de raiz (cm); AStotal: área de superfície total de raiz (cm²); AS1, AS2 e AS3 (cm²): área de superfície de raízes de 0 a 1, 1 a 2 e maior do que 2 mm (cm²); PSR, PSPA e PST: peso seco de raiz, parte aérea e total (g).

Conclusões

Para uma interação eficiente entre planta-bactéria, é de extrema importância a análise do *background* genético da planta, já que a magnitude da resposta da inoculação é dependente do genótipo da planta. O genótipo 1R2546 apresentou maior sistema radicular e peso seco quando inoculado com BPCP.

Para compreender melhor as respostas genéticas, fisiológicas e morfológicas das cultivares de milho à inoculação, bem como as possíveis interações entre plantas e estirpes de BPCPs, é necessário realizar ensaios complementares, incluindo testes de campo.

Referências

- CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 2, p. 440-459, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>.
- LIU, C.; MUCHHAL, U. S.; UTHAPPA, M.; KONONOWICZ, A. K.; RAHOTHAMA, K. G. Tomato phosphate transporter genes are differentially regulated in plant tissues by phosphorus. **Plant Physiology**, v. 116, n. 1, p. 91-99, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.116.1.91>.

MENDIBURU, F. de. **agricolae**: statistical procedures for agricultural research. 2015. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>. Acesso em: 22 maio 2024.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12**: consumo e produção responsáveis: garantir padrões de consumo e produção sustentáveis. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 13 maio 2024.

PARNELL, J. J.; RANDY, B.; YOUNG, H. A.; STURINO, J. M.; KANG, Y.; BARNHART, D. M.; DILEO, M. V. From the lab to the farm: an industrial perspective of plant beneficial microorganisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, article 1110, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01110>.

RIBEIRO, V. P.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; COELHO, A. M.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 2, article 143, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02759-3>.

SOUSA, S. M. de; CLARK, R. T.; MENDES, F. F.; OLIVEIRA, A. C. de; VASCONCELOS, M. J. V. de; PARENTONI, S. N.; KOCHIAN, L. V.; GUIMARÃES, C. T.; MAGALHÃES, J. V. A role for root morphology and related candidate genes in P acquisition efficiency in maize. **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 11, p. 925-935, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1071/fp12022>.

VELLOSO, C. C. V.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. de P.; CARVALHO, C. G. de; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; SOUSA, S. M. de. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, f1aa157, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/f1aa157>.

VIDOTTI, M. S.; MATIAS, F. I.; ALVES, F. C.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; BELTRAN, G. A.; BURGUEÑO, J.; CROSSA, J.; FRITSCHÉ-NETO, R. Maize responsiveness to *Azospirillum brasilense*: Insights into genetic control, heterosis and genomic prediction. **PloS One**, v. 14, n. 6, e0217571, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217571>.

Aumento da tolerância ao alumínio em linhagens de sorgo introgridas com o gene *SbMATE*⁽¹⁾

Matheus Gunther Moura Soares⁽²⁾, Roxane Lemos⁽³⁾, Marcos de Oliveira Pinto⁽⁴⁾, Jurandir Viera de Magalhães⁽⁵⁾, Cícero Beserra de Meneses⁽⁵⁾, Rafael Augusto da Costa Parrela⁽⁵⁾ e Cláudia Teixeira Guimarães⁽⁵⁾

⁽¹⁾Trabalho financiado pelo CNPq, Fapemig e Embrapa. ⁽²⁾Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾Bolsista na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾Analista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – Desenvolver cultivares que tolerem níveis tóxicos de alumínio (Al) no solo é crucial para a produção agrícola em regiões tropicais e subtropicais. O presente trabalho focou na avaliação da tolerância ao Al em linhagens de sorgo introgridas com o alelo superior do gene *SbMATE*, em comparação com as linhagens-elites originais. A introgressão foi realizada via retrocruzamento assistido com um marcador alelo-específico desenvolvido para o ensaio KASP, e as linhagens na geração RC5 foram avaliadas em solução nutritiva utilizando o índice crescimento relativo da raiz. A maioria das linhagens de sorgo foi sensível ao Al, como esperado para a espécie. Todas as linhagens introgridas com o gene *SbMATE* se tornaram moderadamente tolerantes ou tolerantes ao Al. Assim, espera-se que os híbridos de sorgo confeccionados com as linhagens avaliadas no presente trabalho apresentem maior estabilidade de produção em relação aos híbridos disponíveis no mercado.

Termos para indexação: retrocruzamento assistido, MATE, sorgo, KASP.

Increased aluminum tolerance in sorghum lines introgressed with the *SbMATE* gene

Abstract – Developing cultivars that tolerate toxic levels of aluminum (Al) in the soil is crucial for agricultural production in tropical and subtropical regions. The present work focused on evaluating Al tolerance in sorghum lines introgressed with the superior allele of the *SbMATE* gene, in comparison with the original elite lines. Introgression was performed via assisted backcrossing with an allele-specific marker developed for the KASP assay, and lines in the RC5 generation were evaluated in nutrient solution using the relative root growth index. Most sorghum lines were sensitive to Al, as expected for the species. All lines introgressed with the *SbMATE* gene became moderately tolerant or tolerant to Al. Therefore, it is expected that sorghum hybrids made with the lines evaluated in the present work will present greater production stability in relation to hybrids available on the market.

Index terms: assisted backcross, MATE, sorghum, KASP.

Introdução

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é de importância crescente pela sua versatilidade e adaptabilidade, sendo uma espécie resiliente e eficiente em diferentes contextos agrícolas. O sorgo é amplamente utilizado na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis,

destacando-se como uma importante fonte nutricional, especialmente em regiões onde outras fontes alimentares são escassas. É consumido de diversas formas, como farinha, grãos inteiros e ingrediente em produtos alimentícios processados (Awika; Rooney, 2004), existindo cultivares adaptadas para os diferentes propósitos: granífero, forrageiro, sacarino e biomassa.

O sorgo é uma cultura muito resiliente ao déficit hídrico, mas sensível ao alumínio tóxico, prevalente em solos tropicais e subtropicais. O aumento da tolerância ao alumínio em sorgo por meio da introgressão do gene *SbMATE* contribuirá positivamente para a estabilidade de produção dessa cultura, amplamente utilizada na alimentação humana e animal, contribuindo para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: “Fome zero e agricultura sustentável”, mais especificamente para com a meta 2.4 que visa:

Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Apesar de a cultura do sorgo ser tolerante à deficiência hídrica, um dos desafios mais limitantes na produtividade do sorgo é a toxicidade do alumínio em solos ácidos, condição comum em várias regiões agrícolas. A presença de alumínio em níveis tóxicos inibe o crescimento radicular, reduzindo a produtividade das culturas (Kochian et al., 2004). Assim, uma estratégia sustentável para o aumento da produtividade agrícola em solos ácidos é o uso de mecanismos genéticos de tolerância ao alumínio.

O primeiro gene de tolerância ao alumínio identificado em sorgo (*SbMATE*), pertence à família MATE, é induzido pelo Al no ápice radicular de linhagens tolerantes, responsável pela exsudação de citrato, que quela o Al, reduzindo seu efeito tóxico para as células (Magalhães et al., 2007). O alelo superior do gene *SbMATE* confere ganhos significativos de tolerância ao Al em solução nutritiva e aumenta a estabilidade de produção de grãos em solo ácido (Carvalho Júnior et al., 2015). Com isso, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a tolerância ao alumínio em linhagens de sorgo introgridas com o gene *SbMATE* com auxílio de marcadores moleculares.

Material e métodos

Um conjunto de 12 linhagens-elites de sorgo foi utilizada como parentais recorrentes: BR007B_bmr6, 947216, Tx635B_bmr6, CMSXS7217, CMSXS009, CMSXS7216, CMSXS652, CMSXS5506B, BRS511, BRS508, CMSXS643 e 9503062. As linhagens pertencem ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, representando os diferentes tipos de sorgo: granífero, forrageiro, sacarino e biomassa. As linhagens doadoras do alelo de tolerância do gene *SbMATE* foram SC566 ou ATF14B.

O programa de retrocruzamento (RC) assistido utilizou o marcador alelo-específico do tipo KASP para auxiliar a introgressão do alelo superior do gene *SbMATE*, até a geração RC5. A extração de DNA foi realizada utilizando discos foliares. A genotipagem foi realizada com base em um marcador alelo-específico adaptado para o ensaio KASP (Kompetitive Allele-Specific PCR), que distingue o alelo de tolerância ao Al do alelo presente nas demais linhagens.

A reação de PCR foi conduzida em um volume final de 6 μ L, contendo 30 ng de DNA, 3 μ L de KASP Master Mix 2X e 0,084 μ L de KASP Assay Mix para AltSB6083_CA 54X. As amplificações foram realizadas utilizando a técnica de touchdown: uma desnaturação inicial a 94 °C por 15 minutos, seguida de 10 ciclos a 94 °C por 20 segundos, e 61 °C (com redução de 0,6 °C por ciclo até 55 °C) por 1 minuto, seguidos de 26 ciclos a 94 °C por 20 segundos e 55 °C por 1 minuto. Os resultados finais foram analisados utilizando o leitor de fluorescência Fluostar Omega, e a genotipagem foi realizada com o programa KlusterCaller versão 3.2.3.

Os experimentos foram conduzidos em câmara de crescimento, onde as sementes foram esterilizadas superficialmente com 0,85% de cloro ativo. Após esse procedimento, as sementes foram germinadas em papel de germinação por 24 horas em germinador a 28 °C e mantidas por 72 horas em câmara de crescimento com 12 horas de fotoperíodo. As plântulas foram transplantadas para bandejas contendo solução nutritiva de Magnavaca et al. (1987) com pH ajustado para 4,0 e sob aeração contínua. Após a aclimação por 24 horas, foram montadas nove bandejas contendo a mesma solução e 13 bandejas com solução nutritiva contendo {27} μ M de atividade de Al^{3+} .

O comprimento inicial da raiz seminal de cada plântula (CI) foi medido manualmente com auxílio de uma régua logo após o período das 24 horas de aclimação, a segunda medição foi realizada após 5 dias de tratamento (CF). O índice fenotípico utilizado foi o Crescimento Relativo da Raiz em porcentagem (CRR%), que é a relação do comprimento líquido das raízes com alumínio (CF – CI) dividido pelo comprimento líquido das raízes sem alumínio x 100. As análises estatísticas foram realizadas com o programa Genes v 1990.2019-91 (Cruz, 2006).

Resultados e discussão

As progênies de RC1 até a RC5 foram genotipadas com o marcador AltSB6083_CA para a seleção daquelas heterozigotas, conforme apresentado na Figura 1. Já as progênies RC5_F2 homozigotas para o alelo do gene *SbMATE* que confere tolerância ao alumínio foram selecionadas e autofecundadas para multiplicação das sementes.

As linhagens introgridas com o alelo superior do gene *SbMATE* apresentaram ganhos significativos na tolerância ao Al em solução nutritiva contendo 27 μ M de Al^{3+} , em relação às linhagens originais (Tabela 1). O ganho médio de tolerância no conjunto de 12 linhagens de sorgo foi de 122,8%, indicando que o *SbMATE* mais que dobrou a capacidade de crescimento radicular na presença do alumínio. Os ganhos em termos de tolerância variaram de 44 a 210%, dependendo da linhagem de sorgo. A maioria das linhagens de sorgo foi sensível ao Al, exceto duas linhagens de sorgo forrageiro e granífero (Tx635B_bmr6 e 9503062, respectivamente), que apresentaram crescimento radicular acima de 30%. Esses resultados estão coerentes com a identificação de 80% dos acessos de sorgo sensíveis ao Al, entre 209 avaliados (Caniato et al., 2011). Por outro lado, todas as linhagens introgridas com o gene *SbMATE* se tornaram moderadamente tolerantes ou tolerantes ao Al, classe que está presente em baixa frequência na espécie (Caniato et al., 2011). Como o alelo de tolerância ao Al do gene *SbMATE* conferiu ganhos de produtividade de grãos em híbridos de sorgo cultivados em solo ácido (Carvalho Júnior et al., 2015), espera-se que os híbridos confeccionados com as linhagens obtidas no presente trabalho apresentem maior estabilidade de produção em relação aos híbridos disponíveis no mercado.

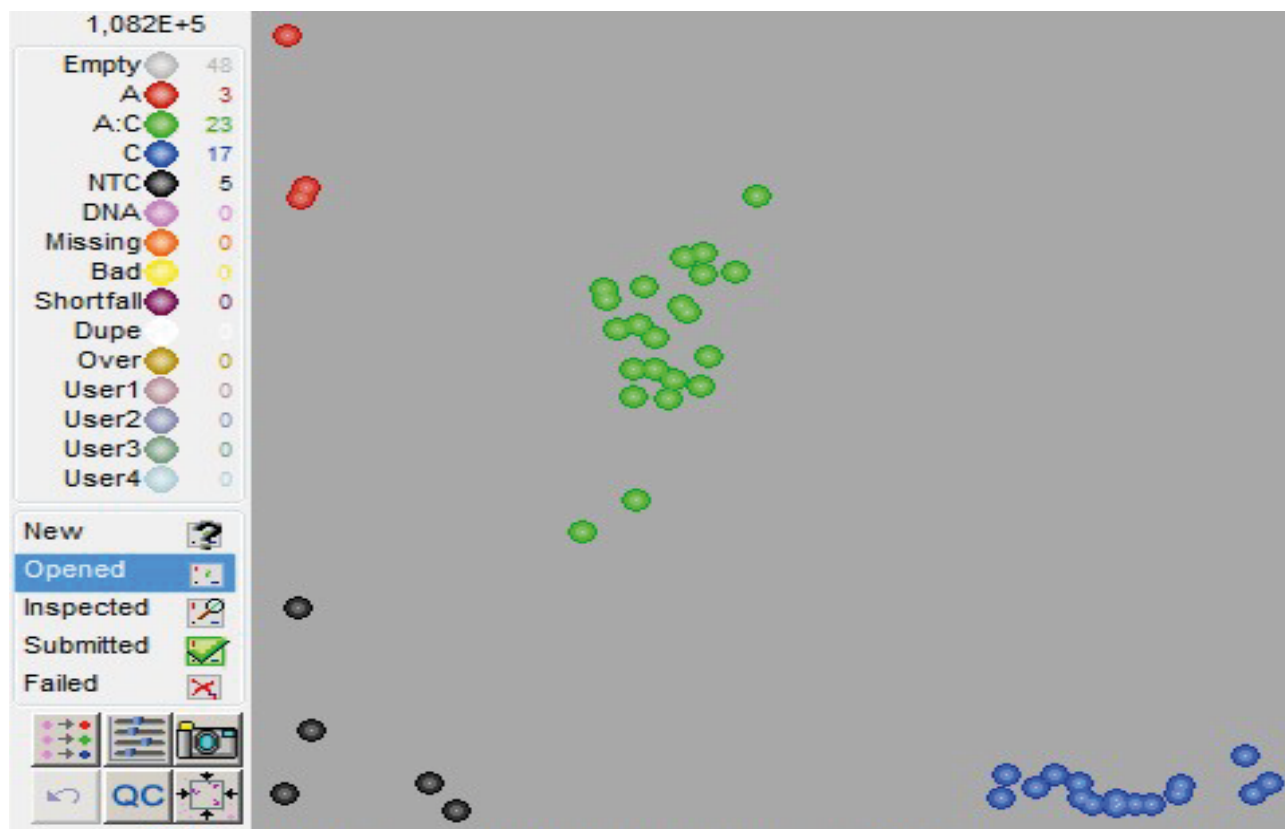


Figura 1. Genotipagem realizada com marcador alelo-específico para o gene *SbMATE* utilizando o ensaio KASP no programa KlusterCaller. As progênies RC5 heterozigotas são representadas por pontos verdes, diferenciando das progênies homozigotas para o alelo da linhagem recorrente (pontos azuis). Os pontos vermelhos representam o parental homozigoto para o alelo superior do gene *SbMATE*.

Tabela 1. Média do crescimento relativo da raiz entre as linhagens de sorgo sem (0-MATE) e introgrididas (2-MATE) com o alelo superior do gene *SbMATE*. As letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste de Scott e Knott a 5%.

Tipo	Pedigree	Comprimento relativo da raiz (%)				
		0-MATE		2-MATE	Ganho (%)	
Forrageiro	BR007B_bmr6	13.1	e	36.1	c	175.8
Forrageiro	947216	29.8	d	42.8	c	43.8
Forrageiro	Tx635B_bmr6	41.7	c	63.9	b	53.2
Biomassa	CMSXS7217	17.7	e	42.1	c	137.6
Biomassa	CMSXS009	21.8	d	54.9	b	151.9
Biomassa	CMSXS7216	25.7	d	70.0	a	171.9
Biomassa	CMSXS652	26.2	d	80.9	a	209.2
Sacarino	CMSXS5506B	20.9	d	43.8	c	109.5
Sacarino	BRS511	23.8	d	52.6	b	121.0
Sacarino	BRS508	25.5	d	55.8	b	119.1
Sacarino	CMSXS643	28.8	d	59.7	b	107.4
Granífero	9503062	40.7	c	70.6	a	73.4
Controles	BR007B/SC566	12.0	e	57.2	b	
Média		26.3		56.1		122.8

Referências

- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, v. 65, n. 9, p. 1199-1221, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.001>.
- CANIATO, F. F.; GUIMARÃES, C. T.; HAMBLIN, M.; BILLOT, C.; RAMI, J.-F.; HUFNAGEL, B.; KOCHIAN, L. V.; LIU, J.; GARCIA, A. A. F.; HASH, C. T.; RAMU, P.; MITCHELL, S.; KRESIVICH, S.; OLIVEIRA, A. C. de; AVELLAR, G. de; BORÉM, A.; GLASZMANN, J.-C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHÃES, J. V. The relationship between population structure and aluminum tolerance in cultivated sorghum. **PLoS ONE**, v. 6, n. 6, e20830, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020830>.
- CARVALHO JÚNIOR, G.; SCHAFFERT, R. E.; MALOSETTI, M.; VIANA, J. H. M.; MENEZES, C. B.; SILVA, L. A.; GUIMARÃES, C. T.; COELHO, A. M.; KOCHIAN, L. V.; EEUWIJK, F. A. van; MAGALHÃES, J. V. Back to acid soil fields: the citrate transporter SbMATE is a major asset for sustainable grain yield for sorghum cultivated on acid soils. **G3 Genes, Genomes, Genetics**, v. 6, n. 2, p. 475-484, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1534/g3.115.025791>.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes**: estatística experimental e matrizes. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 285 p.
- KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 459-493, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>.
- MAGALHÃES, J. V. de; LIU, J.; GUIMARÃES, C. T.; LANA, U. G. de P.; ALVES, V. M. C.; WANG, Y.-H.; SCHAFFERT, R. E.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A.; SHAFF, J. E.; KLEIN, P. E.; CARNEIRO, N. P.; COELHO, C. M.; TRICK, H. N.; KOCHIAN, L. V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature Genetics**, v. 39, n. 9, p. 1156-1161, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng2074>.
- MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O.; CLARK, R. B. Inheritance of aluminum tolerance in maize. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., 1985, Madison. **Proceedings** [...]. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. p. 201-212.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

Otimização do processo de criação da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*)⁽¹⁾

Marcus Vinícius Sena Nogueira⁽²⁾, Frederick Mendes Aguiar⁽³⁾, Fernando Hercos Valicente⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq. ⁽³⁾ Bolsista pós-doutorado, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga significativa que afeta diversas culturas agrícolas. Entre as estratégias de controle dessa praga, destaca-se o uso de baculovírus (Bv) como agente entomopatogênico. No entanto, durante a criação artificial e na multiplicação em massa do vírus, é necessário isolar as lagartas individualmente devido ao comportamento canibal, o que é um processo caro e trabalhoso para a indústria. Com o objetivo de reduzir o canibalismo das lagartas, foram testados quatro produtos (A, B, C e D), o ajuste de concentração do produto e a densidade populacional das lagartas no experimento. O estudo foi dividido em quatro etapas: na primeira e na segunda etapas foram realizadas adequações nas concentrações do produto A e a influência da população de lagartas no comportamento canibalístico; a terceira etapa foi realizada para confirmar a concentração mais eficaz; e a quarta etapa avaliou os quatro produtos em concentração única encontrada na terceira etapa, tanto na presença quanto na ausência do Bv. Os resultados indicaram que os produtos testados apresentaram grande potencial para reduzir o comportamento canibal, mas esse efeito é perdido quando as lagartas são infectadas com o baculovírus.

Termos para indexação: agente entomopatogênico, insetos, praga de planta, canibalismo, controle biológico, bioproduto.

Optimization of the rearing process of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*)

Abstract – *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) is a significant pest that affects several agricultural crops. Among the strategies for controlling this pest stands out the use of baculoviruses (Bv) as an entomopathogenic agent. However, during the artificial creation and in mass production of the virus, it is necessary to isolate the mature larvae individually due to cannibalistic behavior, which is a costly and labor-intensive process for the industry. To reduce cannibalism, four products (A, B, C, and D) were tested by adjusting their concentrations and the population density of the caterpillars in the experiment. The study was divided into four phases: the first and second phases were in order to adjust the concentrations of the products and the influence of the larvae population on cannibalistic behavior; the third phase confirmed the most effective concentration; and the fourth phase evaluated the four products at a single concentration found in the third stage, both in the presence and absence of Bv. The results indicated that the products tested showed great potential to reduce cannibalistic behavior. However, this effect is lost when the larvae are infected with baculovirus.

Index terms: entomopathogenic agents, insects, plant pest, cannibalism, biological control, bioproducts

Introdução

O Laboratório de Controle Biológico (LCB), localizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, desempenha um papel crucial na agricultura ao focar em práticas de controle biológico. Este método vem ganhando destaque como uma alternativa mais sustentável à grande utilização de agroquímicos, que são amplamente empregados para o controle de pragas.

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), é uma das principais e mais preocupantes pragas na cultura do milho. Para o controle dessa praga, uma das alternativas exploradas é o uso de um vírus entomopatogênico chamado baculovírus.

Contudo, o processo de multiplicação em massa do baculovírus é altamente trabalhoso e envolve um alto custo de produção. Isso ocorre porque as lagartas possuem comportamento canibal, e esse comportamento se intensifica quando elas estão infectadas. Como resultado, a individualização das larvas se torna necessária. Com isso, buscam-se formas de diminuir o canibalismo buscando tornar o processo mais eficiente.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Controle Biológico (LCB) da Embrapa Milho e Sorgo, localizado em Sete Lagoas, MG. O experimento foi dividido em quatro etapas.

Na primeira etapa, o produto A foi testado em quatro tratamentos distintos: T1 (testemunha, sem adição do produto); T2 (1,25 ml do produto); T3 (2,50 ml do produto) e T4 (6,00 ml do produto). Utilizou-se dieta artificial para *Spodoptera frugiperda*, que foi derretida no forno micro-ondas e, em seguida, resfriada até atingir uma temperatura de 40 °C para evitar a degradação do produto. As diluições do produto para cada tratamento foram misturadas em 125 ml da dieta, até obter uma mistura homogênea, e armazenadas em recipientes.

Após a solidificação da dieta, o experimento foi montado utilizando gerboxes, cada um contendo 100 lagartas de *S. frugiperda* com três dias de idade. Em cada gerbox, foi adicionada uma quantidade suficiente de dieta para atender às necessidades das lagartas. Foi utilizada uma folha de papel guardanapo em cada tratamento para vedar o recipiente e evitar a fuga das lagartas. O experimento foi avaliado a cada 2 dias.

A segunda etapa consistiu na montagem do experimento com as mesmas dosagens da primeira etapa (testemunha, 1,25 ml, 2,50 ml e 6,00 ml do produto A), porém utilizando 50 lagartas de *S. frugiperda*, também com 3 dias de idade. O experimento foi avaliado a cada 2 dias.

Após observar que a dosagem de 1,25 ml foi a mais eficiente, foi realizado o terceiro experimento com quatro tratamentos distintos: T1 (testemunha, sem adição do produto); T2 (1,0 ml do produto A); T3 (1,25 ml do produto A); e T4 (1,50 ml do produto A), utilizando 100 lagartas com 3 dias de idade para cada tratamento. A avaliação foi realizada a cada 2 dias.

Na quarta etapa, ajustou-se a concentração dos produtos B, C e D para a mesma molaridade do produto A. Utilizou-se 1,25 ml de cada produto (A, B, C e D) para 125 ml de dieta artificial. Também foi utilizado o isolado 6 de baculovírus (Bv); para cada tratamento correspondente foram adicionados

100 microlitros do Bv na concentração de $2,2 \times 10^7$ pol./ml por pedaço de dieta, garantindo uma distribuição uniforme para infectar as lagartas. Foram realizados 11 tratamentos, incluindo: T1 (testemunha, sem adição de produto e do Bv); T2 (dieta normal sem produto + Bv); T3 (produto B); T4 (produto B + Bv); T5 (produto C); T6 (produto C + Bv); T7 (produto A); T8 (produto A + Bv); T9 (produto D); T10 (produto D + Bv); T11 (folha de milho sem produto + Bv). As avaliações foram realizadas inicialmente todos os dias e, posteriormente, a cada 2 dias.

Resultados e discussão

Na primeira etapa do experimento, em que foi testado o produto A em quatro concentrações distintas, os resultados foram determinados em cinco avaliações (Figura 1). Na primeira avaliação, realizada 2 Dias Após Montagem (DAM) do ensaio, observou-se que o T1 (testemunha) apresentou a maior taxa de mortalidade em comparação com os outros tratamentos. Na segunda avaliação, realizada após 5 DAM do ensaio, o tratamento com 6 ml produto A (T4) mostrou uma grande redução na quantidade de lagartas. Em contraste, o T2 (1,25 ml do produto A) manteve um número superior de lagartas em comparação com os outros tratamentos.

Na terceira avaliação, realizada 7 DAM do ensaio, a ordem de eficiência dos tratamentos permaneceu a mesma. O T2 apresentou o maior número de lagartas, apresentando a menor taxa de canibalismo, seguido por T3, T1 e T4. Na quarta avaliação realizada após 9 DAM do experimento, o T3 registrou um aumento no canibalismo em relação à avaliação anterior, saindo de 71 para 44 lagartas. O tratamento 4 (T4) continuou apresentando a maior taxa de mortalidade (Figura 1).

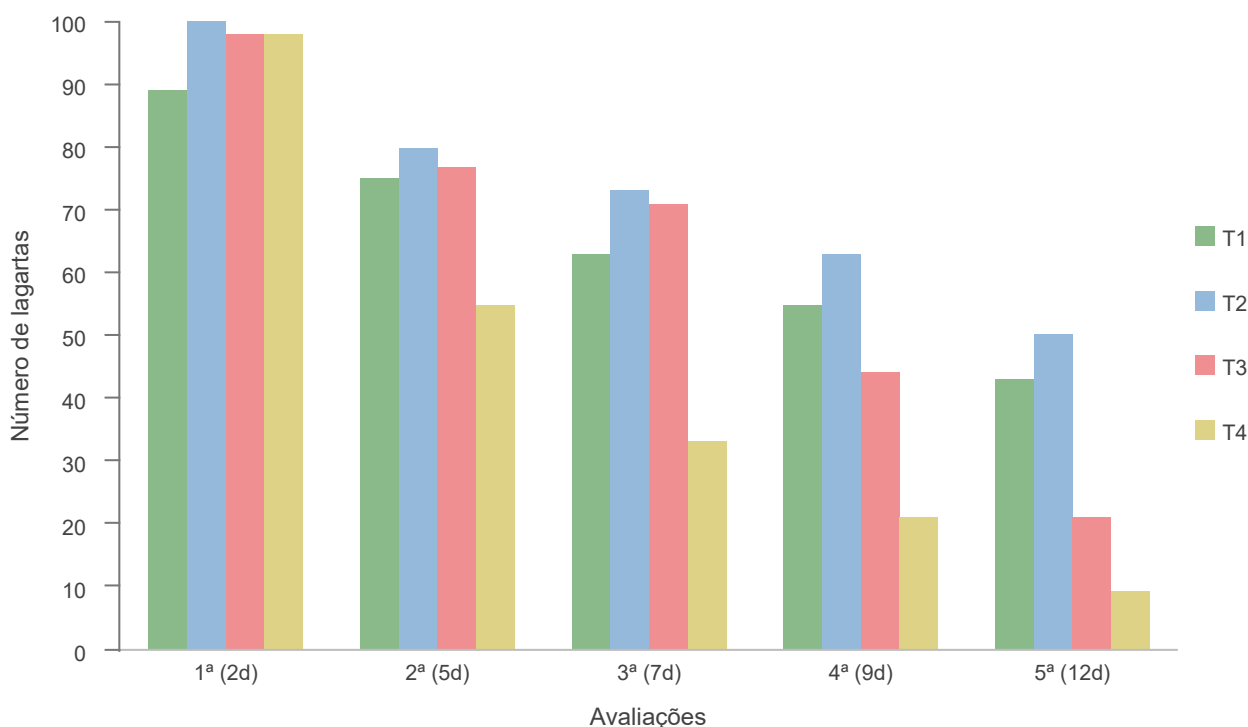


Figura 1. Número de lagartas após 12 dias de avaliação da taxa de canibalismo de *Spodoptera frugiperda*.

O ensaio foi finalizado na quinta avaliação realizada após 12 dias da montagem, o T2 (1,25 ml do produto A) apresentou em seus resultados a maior eficiência no canibalismo da lagarta *Spodoptera frugiperda*, com 50 lagartas restantes. O T1 ficou em segundo lugar, com 43 lagartas, seguido por T3 (2,50 ml do produto A), que apresentou 21 lagartas, já o T4, a menor eficiência no canibalismo de *S. frugiperda*, com apenas nove lagartas (Figura 1). Este resultado pode estar relacionada com a alta concentração do produto A, restringindo a alimentação da lagarta, com isso o aumento do canibalismo.

Na segunda etapa do experimento, o produto A foi testado novamente nas mesmas dosagens da etapa anterior, alterando somente o número total de lagartas (50 lagartas) para cada tratamento, e os resultados foram obtidos após quatro avaliações (Figura 2). Na primeira avaliação, realizada após 3 DAM do ensaio, notou-se que o T2 (1,25 ml do produto A) obteve o menor canibalismo dentre os tratamentos. Em paralelo a isso, o T4 (6,00 ml do produto A) teve o maior índice. Na segunda avaliação, que foi realizada após 5 dias da montagem, foi possível evidenciar que o T4 possuiu maior índice de canibalismo.

Na terceira avaliação, realizada 7 DAM do ensaio, o T4 se manteve em uma tendencia de maior canibalismo, enquanto os tratamentos restantes se mantiveram equiparados.

Passados 10 dias da montagem, o ensaio foi finalizado com uma última avaliação, em que foi constatado que o tratamento com a menor taxa de canibalismo foi a testemunha (T1) finalizando com 29 lagartas, seguidos do T2 (1,25 ml do produto A) finalizado com 26 lagartas, T3 (2,50 ml do produto A) com 23 lagartas, e com o tratamento T4 (6,00 ml do produto A) com nove lagartas restantes (Figura 2).

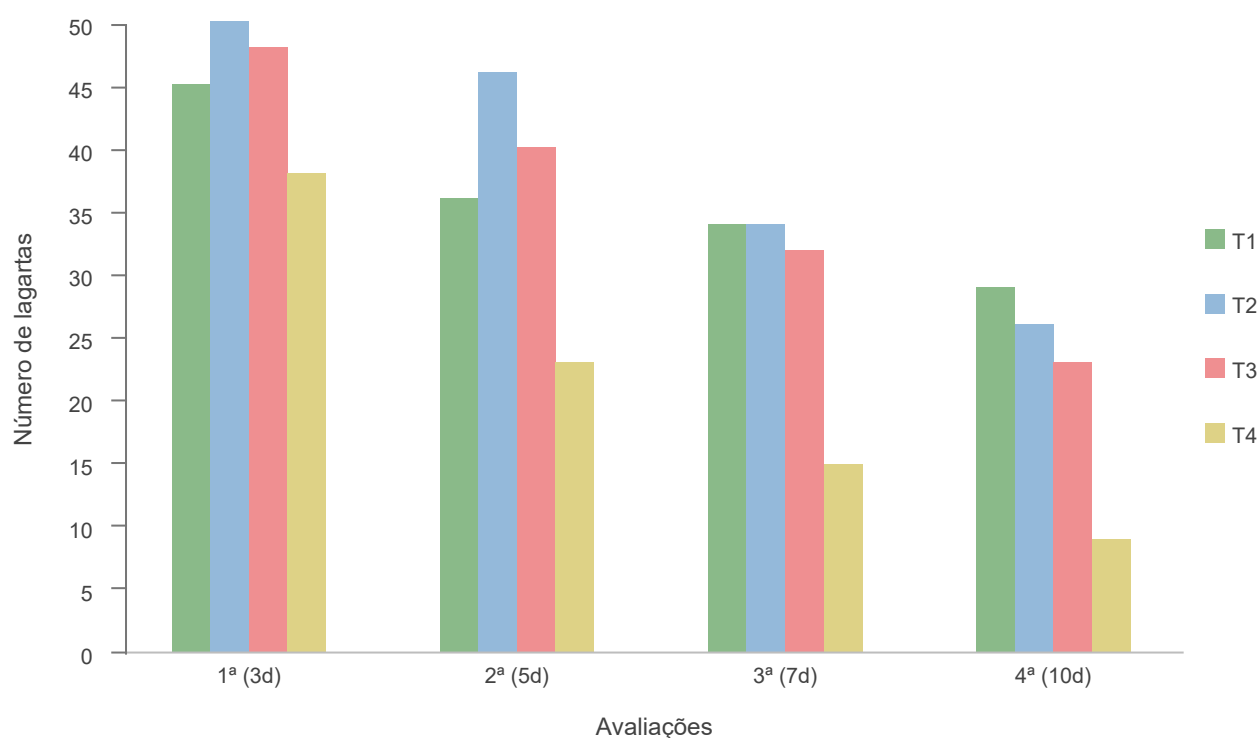


Figura 2. Número de lagartas após 10 dias de avaliação da taxa de canibalismo de *Spodoptera frugiperda*.

Quando observamos as concentrações dos produtos, os resultados se assemelham com os da etapa anterior, indicando que a quantidade de lagarta apresenta influência somente na taxa de canibalismo da dieta sem produto, mas que uma maior dosagem do produto pode apresentar uma taxa mais elevada de canibalismo, como observada no T4.

Na terceira etapa do experimento, foi utilizado o produto A, com novas concentrações e novamente com 100 lagartas por tratamento. Os resultados foram obtidos após quatro avaliações (Figura 3). Na primeira avaliação, que foi realizada 2 DAM do ensaio, nota-se que a testemunha (T1) possuiu a menor taxa de canibalismo, e o tratamento T4 (1,50 ml do produto A), a maior taxa. Na segunda avaliação, feita 4 DAM do ensaio, foi possível observar que o tratamento T2 (1,00 ml do produto A) possuiu um índice mais acentuado de canibalismo, enquanto os outros tratamentos estavam com resultados mais próximos.

Durante a terceira avaliação, realizada 7 DAM do ensaio, observou-se uma equiparidade entre os resultados do T1 com o T2 e maior canibalismo no T4. Na quarta e última avaliação, realizada 9 DAM do ensaio, o T3 (1,25ml do produto A) apresentou o menor canibalismo dentre os tratamentos, finalizando com 50 lagartas, seguido do T2 com 49 lagartas, T1 com 47 lagartas e, com a menor eficiência na diminuição do canibalismo, ficou o T4 com 35 lagartas (Figura 3).

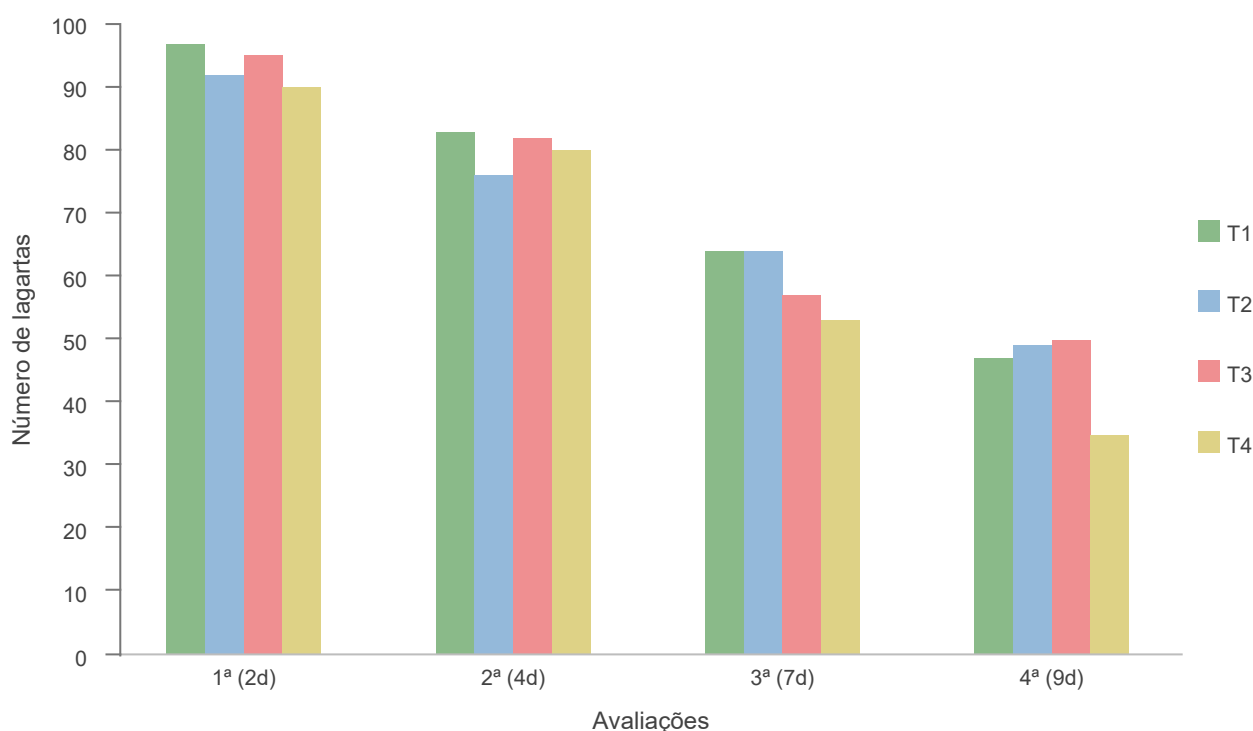


Figura 3. Número de lagartas após 9 dias de avaliação da taxa de canibalismo de *Spodoptera frugiperda*.

Esses resultados nos mostram que a concentração de 1,25ml do produto A se tornou a mais eficiente no canibalismo da lagarta *S. frugiperda*, enquanto doses maiores do produto possuíam maior índice de canibalismo.

Na quarta e última etapa do experimento, foram testados diferentes produtos (A, B, C e D), com a presença ou não do baculovírus (Bv), com os resultados encontrados após seis avaliações

(Figura 4). A primeira avaliação foi realizada no dia seguinte à montagem do ensaio, observando que os tratamentos T2 (sem adição do produto + Bv), T4 (produto B + Bv), T5 (produto C), T8 (produto A + Bv) e T9 (produto D) não tiveram canibalismo, mantendo o estande inicial de lagartas, enquanto o T3 (produto B) obteve maior canibalismo. A segunda avaliação foi realizada 2 dias após a montagem, notando-se que o T9 manteve-se com o melhor taxa de canibalismo e o T3 manteve-se com a maior taxa.

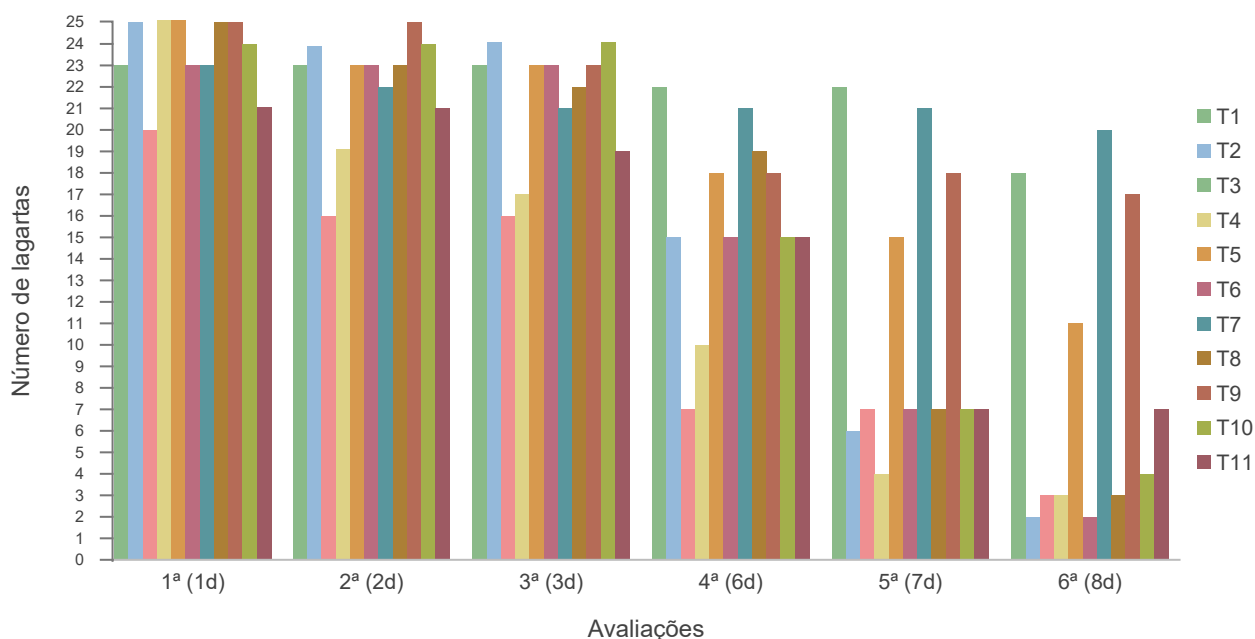


Figura 4. Número de lagartas após 8 dias de avaliação da taxa de canibalismo de *Spodoptera frugiperda*.

Na terceira avaliação, feita após 3 dias da montagem, os tratamentos T2 (sem adição do produto + Bv) e T10 (produto D + Bv) ficaram com os melhores resultados, mantendo-se com 24 lagartas cada. O tratamento T3 se manteve com o pior resultado dentre os tratamentos, com 16 lagartas. Na quarta avaliação, realizada 6 DAM do ensaio, observou-se maior diversificação dos resultados com a testemunha T1, sendo a que teve menor taxa de canibalismo, e o T3 manteve-se com as maiores taxas.

Na quinta avaliação, que foi realizada 7 DAM do ensaio, ficou mais evidente a associação do canibalismo com a infecção causada pelo Bv. Os tratamentos T1, T7, T9 e T5, que não tinham o baculovírus, mantiveram-se com o menor índice de canibalismo, enquanto os tratamentos com inoculação do baculovírus apresentaram maior canibalismo, com ênfase no T4, que teve a pior taxa de canibalismo.

A sexta e última avaliação realizada com 8 DAM do ensaio, o T7 apresentou maior eficiência na diminuição do canibalismo, finalizando com 20 lagartas das 25 iniciais, seguido dos tratamentos T1 com 18 lagartas, T9 com 17 lagartas, T5 com 11 lagartas, T11 com sete lagartas, T10 com quatro lagartas, T3, T4 e T8 com três lagartas cada, T2 e T6 com duas lagartas cada, possuindo a maior taxa de canibalismo entre os tratamentos.

Com esses resultados, observou-se que os tratamentos sem a presença do baculovírus apresentaram uma menor taxa de canibalismo em comparação com os tratamentos infectados com o

baculovírus. Isso sugere que, embora os produtos testados mostrem potencial para reduzir o comportamento canibal entre as lagartas, muito útil em uma criação de lagartas, esse efeito é mitigado quando as lagartas estão infectadas. Portanto, o comportamento canibal persiste independentemente das intervenções quando a infecção está presente.

Conclusões

A utilização de diferentes produtos como alternativa para a redução do canibalismo entre lagartas *S. frugiperda* para a bioindústria não se fez eficiente porque o comportamento canibal persiste quando infectada pelo baculovírus mesmo com intervenções. Entretanto, quando não infectada, o produto é eficiente e reduz o canibalismo no método de criação de inseto, reduzindo a necessidade da individualização das lagartas durante o processo.

Caracterização de genótipos de sorgo e estudo de herança da resistência ao pulgão do sorgo (*Melanaphis sorghi*)⁽¹⁾

Iasmim Marrony Damasceno Reis⁽²⁾, Marcelo Augusto Vieira Santos⁽⁴⁾, Isadora Cristina Martins Oliveira⁽⁵⁾, Cicero Beserra de Menezes⁽³⁾ e José Ângelo Nogueira de Menezes Júnior⁽³⁾

⁽¹⁾Trabalho financiado pelo CNPq/Fapemig. ⁽²⁾Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁽⁴⁾Estudante de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. ⁽⁵⁾Doutora, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Resumo – O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é um dos principais cereais produzidos no mundo, porém enfrenta dificuldades para alcançar a sua real potencialidade produtiva em razão do ataque de pragas, principalmente o pulgão do sorgo (*Melanaphis sorghi*), que vem causando prejuízos significativos nas lavouras. Dessa forma, torna-se relevante a caracterização da resistência do sorgo a esse afídeo. Na literatura, é descrita a herança monogênica com participação de um único alelo dominante conferindo resistência ao pulgão. O objetivo deste estudo foi avaliar a base genética da resistência de linhagens de sorgo ao *M. sorghi*. Para isso, analisaram-se as linhagens Tx2783R (resistente) e CMSXS1111R (suscetível) e as gerações provenientes do seu cruzamento (F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} e F_3) em condições controladas. Infestaram-se as populações com o pulgão manualmente. Em seguida, ocorreu a avaliação do ataque do patógeno na planta de sorgo seguindo uma escala padrão de notas de injúria de 1 a 6. As análises estatísticas foram realizadas mediante o teste qui-quadrado com a formulação de hipóteses, e o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. A linhagem parental resistente Tx2783R mostrou-se resistente ao pulgão do sorgo, diferente da linhagem CMSXS1111R, que foi altamente suscetível. Os resultados das gerações F_1 , F_2 , RC_1 , RC_2 e F_3 indicam que a herança é do tipo monogênica com interação alélica de dominância em que um alelo é responsável pela manifestação do caráter mediante a confirmação da segregação da proporção de três plantas resistentes para uma suscetível na geração F_2 , padrão esperado para herança condicionada a um gene.

Termos para indexação: *Sorghum bicolor*, *Melanaphis sorghi*, melhoramento vegetal, resistência genética.

Characterization of sorghum genotypes and study of inheritance of resistance to sorghum aphid (*Melanaphis sorghi*)

Abstract – Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is one of the main cereals crop in the world, but it faces problems to reach its real yield potential due to attacks by pests, especially the sorghum aphid (*Melanaphis sorghi*), which has been causing significant losses in field crops. Thus, it becomes relevant to characterize the resistance of sorghum to this aphid. In the published papers, monogenic inheritance with the participation of a single dominant gene conferring resistance to the aphid is described. The aim of this study was to evaluate the genetic basis of the resistance of sorghum lines to *M. sorghi*. The lines Tx2783R (resistant) and CMSXS1111R (susceptible) and the generations

from their crossing (F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} and F_3) under controlled conditions were analyzed. The populations were infested with the aphid manually. After this, the pathogen attack on the sorghum plant was evaluated according to a standard scale of injury scores from 1 to 6. Statistical analyses were performed using the chi-square test with the formulation of hypotheses, and the experimental design used was completely randomized. The resistant parental line Tx2783 was resistant to the sorghum aphid, unlike the CMSXS1111R line, which was highly susceptible. The results of the F_1 , F_2 , RC_{11} , RC_{12} and F_3 generations indicate that the inheritance is of the monogenic type with allelic interaction of dominance in which an allele is responsible for the manifestation of the trait through the confirmation of the F_2 segregation of the ratio of three resistant plants to one susceptible, an expected pattern for inheritance conditioned by one gene.

Index terms: *Sorghum bicolor*, *Melanaphis sorghi*, plant breeding, genetic resistance.

Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo (FAO, 2024). No ano de 2021, a produção mundial de grãos de sorgo chegou a mais de 61 milhões de toneladas, em uma área de 40,9 milhões de hectares (FAO, 2024). Já a produção brasileira, na safra 2023/2024 chegou a 4,6 milhões de toneladas, 3,5% inferior à safra anterior (Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 2024). Essa redução se deve, principalmente, às condições climáticas adversas, o que contribui também com a redução da janela de plantio, conseqüentemente com o rendimento da cultura. No Brasil, o cultivo do sorgo é realizado durante a safrinha, como cultura de sucessão à soja, principalmente em regiões com menor índice pluviométrico, onde o milho safrinha não se desenvolve muito bem (Menezes et al., 2021). Com isso, o sorgo se destaca quando comparado a outros cereais, pois apresenta ciclo mais curto e maior tolerância ao déficit hídrico (Menezes, 2015).

Nos últimos anos, uma nova praga está causando grandes danos à cultura do sorgo, o pulgão-da-cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari* (Zehntner), Singh, 1897/ *Melanaphis sorghi* Theobald, 1904) (Fernandes et al., 2021). Esse inseto pode atacar as plantas em todos os estágios fenológicos, desde a emergência das plantas até a maturação fisiológica dos grãos (Teetes et al., 1983), e gerar danos irreparáveis à cultura, principalmente quedas consideráveis na produção e qualidade de grãos.

Uma vez que ainda não existem inseticidas registrados para o controle do pulgão em sorgo, a estratégia mais adequada é a utilização de cultivares resistentes. O uso de cultivares resistentes não eleva o custo de produção, é de fácil utilização e pode reduzir o uso de inseticidas químicos. O programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo vem trabalhando na seleção de cultivares mais resistentes e iniciando os estudos da herança gênica para resistência ao pulgão. Observa-se que há grande variabilidade para injúria nas linhagens utilizadas no programa de melhoramento de sorgo granífero, sendo possível a seleção de linhagens com bons níveis de resistência (Fernandes et al., 2021). Em vista disso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar genótipos de sorgo e estudar a herança da resistência ao pulgão do sorgo em gerações descendentes do cruzamento entre linhagens contrastantes de sorgo granífero.

Por apresentar informações sobre a herança da resistência de sorgo ao pulgão amarelo e também apresentar informações importantes para o desenvolvimento de cultivares resistentes a insetos

pragas, resultando em menor uso de inseticidas e levando a uma produção mais sustentável de alimentos, este trabalho contribui para o atendimento do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 12 da Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas ONU: “Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis”, mais especificamente para a meta 12.4:

Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na estação da Embrapa Milho e Sorgo, situada em Sete Lagoas, MG, com o intuito de estudar a herança da resistência do sorgo ao pulgão. Foram avaliadas gerações do cruzamento entre as linhagens Tx2783R e CMSXS1111R. Estudaram-se, no total, 562 indivíduos, 40 indivíduos da geração P_1 (linhagem resistente), 40 indivíduos da geração P_2 (linhagem suscetível), 16 indivíduos da geração F_1 (geração resultante do cruzamento entre P_1 e P_2), 240 indivíduos de F_2 (geração obtida pela autofecundação da geração F_1), 40 indivíduos da geração RC_1 (retrocruzamento da geração F_1 com a linhagem resistente P_1), 38 indivíduos de RC_2 (retrocruzamento da geração F_1 com a linhagem resistente P_2) e 148 indivíduos da geração F_3 (geração obtida pela autofecundação da geração F_2).

As infestações foram iniciadas quando as plantas apresentaram de quatro a cinco folhas completamente desenvolvidas. Após 15 a 30 dias, foram feitas as avaliações de injúria e infestação, que ocorreram semanalmente. As avaliações de infestação e de injúrias foram baseadas em uma escala de notas de 1 a 6 (nota 1 = 20% de infestação, 2 = 40% de infestação, 3 = 60% de infestação, 4 = 80% de infestação e 5 = 100% de infestação) e (nota 1 = 10% de injúria, 2 = 20% de injúria, 3 = 40% de injúria, 4 = 60% de injúria, 5 = 80% de injúria e 6 = 100% de injúria/ planta morta), de acordo com Fernandes et al. (2021).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Genes (Cruz, 2013). Realizou-se a análise de variância, de acordo com o delineamento experimental proposto, e foram estimados os componentes de variância, as médias e os valores fenotípicos máximos e mínimos. As médias de todas as características foram comparadas utilizando o método de Tukey (1953). Para testar o tipo de herança gênica, todas as gerações foram avaliadas quanto à resistência ou susceptibilidade ao pulgão, de acordo com infestação e injúria e submetidos ao teste qui-quadrado para testar a hipótese de segregação gênica.

Resultados e discussão

Para o estudo da herança da resistência ao pulgão *M. sorghi*, considerou-se a classificação das plantas de todas as gerações como resistente (nota menor ou igual 3) ou suscetível (nota maior que 3), de acordo com as notas de injúria e infestação, ambas variando de 10% (nota 1) a 100% (nota 6). Os resultados da análise de média e a distribuição de frequência para as características de resistência e susceptibilidade estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise da segregação das gerações (P_1 , P_2 , F_1 , F_2 , RC_1 , RC_2 e F_3), e teste qui-quadrado em populações de sorgo para investigação da segregação.

Classe fenotípica	Número de plantas ¹			Segregação esperada	Nota média de injúria	χ^2
	R	S	Total			
Tx2783R (P_1)	39	1	40		2,63	
CMSXS1111R (P_2)	1	39	40		5,70	
F_1	14	2	16		2,81	
F_2	182	58	240	3R:1S	3,64	0,089 ^{ns}
$F_1 \times P_1$ (RC_1)	35	5	40	100% R	2,78	0,625 ^{ns}
$F_1 \times P_2$ (RC_2)	25	13	38	1R:1S	3,79	3,789 ^{ns}
F_3	121	27	148	3R:1S	3,24	3,60 ^{ns}

¹ Resistente (Nota de injúria < 4). Suscetível (Nota de injúria $\geq$ 4).

² (1;0,05) = 3,84.

Observando a Tabela 1, é possível verificar que a nota média de injúria atribuída ao parental resistente (P_1) foi de 2,63 e para o parental suscetível (P_2) foi de 5,70, evidenciando que são genótipos contrastantes para a característica de interesse. A maioria das plantas do genótipo resistente (Tx2783R) obteve nota menor ou igual a 3 (97,5%), o que corrobora com os resultados de Armstrong et al. (2015), que também observaram que o genótipo Tx2783R foi altamente resistente ao pulgão. Em contrapartida, o genótipo suscetível (CMSXS1111R) apresentou somente uma planta com nota menor que 4, o restante mostrou-se superior ou igual nota 4 (97,5%).

As notas médias das gerações F_1 e RC_1 foram as menores dentre as demais gerações e próximas à nota obtida pelo parental resistente, sendo 2,81 e 2,78, respectivamente, apontando a maior resistência e a possibilidade de ser um caso de dominância completa. Ao avaliar a geração F_1 , com nota de 2,81, verificou-se um melhor desempenho em relação à média dos genitores (4,17), indicando uma possível existência da heterose para a resistência ao pulgão, uma vez que quanto menor o valor da nota maior é a resistência à praga.

Com base na análise dos resultados da distribuição de frequência das gerações segregantes F_2 a F_3 , identificou-se que a proporção observada se assemelha à proporção esperada, de três plantas resistentes para uma suscetível. Isso sugere que a herança da resistência do genitor Tx2783R é monogênica e controlada por um único alelo dominante, uma vez que a segregação de 3:1 (resistente: suscetível) foi confirmada pelo teste de qui-quadrado a 5% de probabilidade. A segregação encontrada na geração F_2 no presente estudo corrobora com os resultados obtidos por Hsieh e Pi (1982), Tan et al. (1985), Manthe (1992) e Tetreault et al. (2019), que indicaram que a resistência é monogênica e controlada por um único gene dominante.

No retrocruzamento com o parental resistente (RC_1), observou-se maior frequência de plantas resistentes, o que era esperado no caso de herança monogênica, uma vez que todos os indivíduos apresentariam pelo menos um alelo resistente. Já no retrocruzamento com o parental suscetível (RC_2), a proporção esperada seria de uma planta resistente, para uma planta suscetível, o que foi confirmado pelo teste qui-quadrado (Tabela 1).

Para a população F_3 , obtida pela autofecundação de plantas resistentes da geração F_2 , constatou-se nota média de injúria de 3,24, resultado próximo à média da geração F_2 (3,64), o que indica que há uma estabilidade da resistência nas futuras gerações. A proporção fenotípica de 3:1

(resistente: suscetível) para a resistência ao pulgão do sorgo também não foi significativa a 5% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, assemelhando-se à geração F_2 .

Conclusão

Os resultados deste trabalho estão em conformidade com a literatura que constatou que a resistência ao pulgão *M. sorghi* pode ser de herança do tipo monogênica apresentando interação alélica de dominância completa. Portanto, um ou poucos genes confere resistência ao sorgo contra o ataque de pulgão amarelo, e isso facilita o processo de seleção e obtenção de híbridos resistentes.

Referências

- ACOMPANHAMENTO da Safra Brasileira [de] Grãos: safra 2023/24: 8º levantamento, v. 11, n. 8, maio 2024. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- ARMSTRONG, J. S.; ROONEY, W. L.; PETERSON, G. C.; VILLENUEVA, R. T.; BREWER, M. J.; SEKULA-ORTIZ, D. Sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae): host range and sorghum resistance including cross-resistance from greenbug sources. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 2, p. 576-582, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tou065>.
- CRUZ, C. D. GENES: software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- FAO. **FAOSTAT**: crops and livestock products. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- FERNANDES, F. O.; SOUZA, C. da S. F.; AVELLAR, G. S. de; NASCIMENTO, P. T.; DAMASCENO, N. C. R.; SANTOS, N. M. dos; LIMA, P. F.; SANTOS, V. M. C. dos; SIMEONE, M. L. F.; PARRELLA, R. A. da C.; MENEZES, C. B. de; OLIVEIRA, I. R. de; MENDES, S. M. **Manejo do pulgão da cana-de-açúcar (*Melanaphis sacchari/sorghii*) na cultura do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 249). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131566/1/COT-249.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- HSIEH, J.; PI, C. P. Genetic study on aphid resistance in sorghum. **Journal Agricultural Association of China**, v. 117, p. 6-14, 1982.
- MANTHE, C. S. **Sorghum resistance to sugarcane aphid (Hemiptera: Aphididae)**. 1992. 166 f. Tese (Doutorado) - Texas A&M University, College Station, 1992.
- MENEZES, C. B. de (ed.). **Sorgo granífero: estenda sua safrinha com segurança**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 65 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 176). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1020186/1/doc176.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- MENEZES, C. B. de; FERNANDES, E. de A.; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; RODRIGUES, J. A. S. Importância do sorgo para o abastecimento de grãos, forragem e bioenergia no Brasil. In: MENEZES, C. B. de (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 13-58. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138284/1/Cap-1-Importancia-do-sorgo.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 12: consumo e produção responsáveis: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/12>. Acesso em: 13 maio 2024.
- TAN, W. Q.; LI, S. M.; GUO, H. P.; GAO, R. P. A study of the inheritance of aphid resistance in sorghum. **Shanxi Agricultural Science**, n. 8, p. 12-14, 1985.

TEETES, G. L.; REDDY, K. V. S.; LEUSCHNER, K.; HOUSE, L. R. **Sorghum insect identification handbook**. Andhra Pradesh: ICRISAT, 1983. 124 p. (ICRISAT. Information Bulletin, 12).

TETREAULT, H. M.; GROVER, S.; SCULLY, E. D.; GRIES, T.; PALMER, N. A.; SARATH, G.; LOUIS, J.; SATTLER, S. E. Global responses of resistant and susceptible sorghum (*Sorghum bicolor*) to sugarcane aphid (*Melanaphis sacchari*). **Frontiers in Plant Science**, v. 10, article 145, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00145>.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. New Jersey: Princeton University, 1953.

Influência do gene *SbEPI1* na expressão do gene *SbMATE* e na tolerância ao alumínio em sorgo⁽¹⁾

Mirely dos Santos Faria⁽²⁾, Maria Regina Fernandes Gonçalves⁽³⁾, Beatriz de Almeida Barros⁽⁴⁾ e Jurandir Vieira de Magalhães⁽⁵⁾

⁽¹⁾Trabalho financiado pelo CNPq/Fapemig. ⁽²⁾Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista PIBIC/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾Estudante de pós-graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾Analista, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁵⁾Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – Solos ácidos, que são comuns em regiões tropicais e subtropicais, ocupam cerca de 40% das terras agricultáveis no mundo e têm $\text{pH} \leq 5,0$, o que leva à fitotoxidez de alumínio (Al). A tolerância ao Al em sorgo (*Sorghum bicolor*), uma espécie adaptada a climas quentes e secos, é conferida pelo gene *SbMATE* no loco *Alt_{SB}*, que foi mapeado geneticamente na porção terminal do cromossomo 3. O gene *SbMATE* codifica uma proteína transportadora, responsável pelo fluxo de citrato nos ápices radiculares de genótipos tolerantes ao Al. No entanto, outros fatores genéticos influenciam a expressão do gene *SbMATE* e a tolerância ao Al em sorgo. Por exemplo, os fatores de transcrição *SbWRKY1* e *SbZNF1* no cromossomo 9 do sorgo regulam transcricionalmente o gene *SbMATE*. Além disso, resultados prévios indicaram que o gene *SbEPI1*, presente também no cromossomo 9 e que está envolvido em mecanismos epigenéticos de controle transcricional, pode modular a expressão do gene *SbMATE*. Este estudo visa investigar o papel do gene *SbEPI1* na modulação da tolerância ao alumínio em sorgo.

Termos para indexação: sorgo, tolerância ao alumínio, *SbMATE*, solo ácido.

Influence of the *SbEPI1* gene on the expression of the *SbMATE* gene and aluminum tolerance in sorghum

Abstract – Acid soils, which are common in tropical and subtropical regions, occupy about 40% of the world's arable land and have $\text{pH} \leq 5.0$, causing aluminum (Al) phytotoxicity. Aluminum tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*), a species adapted to hot and dry climates, is conferred by the *SbMATE* gene at the *Alt_{SB}* locus, which was genetically mapped on the terminal region of chromosome 3. *SbMATE* encodes a transporter protein responsible for the efflux of citrate in root apices of Al-tolerant sorghum genotypes. However, other genetic factors influence *SbMATE* expression and Al tolerance in sorghum. For example, the transcription factors *SbWRKY1* and *SbZNF1* on sorghum chromosome 9 regulate *SbMATE*. In addition, previous results indicated that the *SbEPI1* gene, also present on chromosome 9 and involved in epigenetic mechanisms of transcriptional control, can modulate the expression of *SbMATE*. This study aims at investigating the role of *SbEPI1* on *SbMATE* expression and Al tolerance in sorghum.

Index terms: sorghum, aluminum tolerance, *SbMATE*, acid soils.

Introdução

Solos ácidos com $\text{pH} \leq 5,0$ são comumente encontrados em regiões de clima tropical e subtropical, e representam cerca de 40% das terras agricultáveis do mundo (Uexküll; Mutert, 1995). Nesses solos, o alumínio (Al) encontra-se em sua forma iônica, Al^{3+} , que é fitotóxica, inibindo o crescimento radicular e, consequentemente, restringindo a absorção de água e de nutrientes pelas raízes das plantas e, em última instância, a produção vegetal em solos ácidos (Kochian et al., 2004).

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma espécie originária da África e adaptada a climas quentes e secos. A espécie tem grande importância agrônômica mundial, sendo utilizado para vários propósitos, como na alimentação humana e animal, e na produção de fibras e bioenergia. O loco Alt_{SB} no cromossomo 3 explica a maior parte da variação para a tolerância ao Al em uma população segregante derivada das linhagens BR007 (sensível ao Al) e SC283 (tolerante ao Al) (Magalhães et al., 2007). O gene responsável pelo fenótipo de tolerância ao Al conferido pelo loco Alt_{SB} é o gene *SbMATE*. A expressão do gene *SbMATE* é induzida pelo Al e é positivamente correlacionada com a liberação de citrato e com o número de repetições presentes em sua região promotora, que contém um elemento transponível do tipo MITE (Magalhães et al., 2007). *SbMATE* é uma proteína transportadora de membrana da família MATE (*Multidrug and toxic compound extrusion family*), que confere tolerância ao Al por meio da liberação de citrato ativada pelo Al em ápices radiculares (Magalhães et al., 2007).

Embora seja um gene de efeito maior, a introgressão do gene *SbMATE* em linhagens sensíveis ao Al resulta em uma transferência incompleta do fenótipo de tolerância, que é acompanhada da redução de expressão do gene *SbMATE*. Isso sugere a atuação de outros fatores, localizados em outras regiões genômicas, no mecanismo molecular de tolerância ao Al controlado pelo gene *SbMATE* (Melo et al., 2013). Por meio de mapeamento de QTLs de expressão do gene *SbMATE* e da tolerância ao Al, seguido de escaneamento genômico, foram identificados, no cromossomo 9 de sorgo, genes regulatórios em regiões estatisticamente associadas com a variação na expressão do gene *SbMATE* e com a tolerância ao Al (Melo et al., 2019). Dois fatores de transcrição, *SbWRKY1* e *SbZNF1*, regulam a expressão do gene *SbMATE*, uma vez que foram capazes de transativar seu promotor, reconhecendo um cis elemento presente nas repetições da região promotora (Melo et al., 2019). Um terceiro gene candidato, *SbEPI1*, também localizado no cromossomo 9, ainda não foi caracterizado funcionalmente. Esse gene, que apresenta expressão induzida por Al em linhagens tolerantes, codifica uma proteína envolvida em rotas epigenéticas que promovem metilação de DNA direcionada por RNA (*RdDM*, *RNA-directed DN methylation*), promovendo um remodelamento da cromatina em regiões repetitivas. Essas modificações são em geral repressivas, já que promovem uma maior compactação da cromatina, diminuindo o acesso da maquinaria transcricional nessa região.

Como a tolerância ao alumínio aumenta a resiliência do sorgo ao estresse de seca, as informações contidas neste trabalho estão alinhadas com a meta 13.1 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de número 13 (ODS 13), estabelecido na Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas.

Esta meta visa “reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países” (Nações Unidas, 2024).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar se *SbEPI1* pode modular a expressão do gene *SbMATE* e, consequentemente, a tolerância ao alumínio em sorgo.

Material e métodos

Para esse trabalho, foram utilizados quatro genótipos de sorgo: as linhagens SC566 e BR007, tolerante e sensível ao Al, respectivamente, e um par de linhagens isogênicas, NIL 2 e NIL3, derivadas do cruzamento BR007 x SC566. Essas NILs apresentam o alelo tolerante do gene *SbMATE* e são altamente similares do ponto de vista genético (~95%), contrastando para os alelos do gene *SbEPI1*. A NIL 2 é homozigota para o alelo doado por BR007, enquanto a NIL 3 apresenta o alelo de SC566 em homozigose.

O experimento para avaliar a tolerância ao alumínio foi conduzido na câmara de crescimento na Embrapa Milho e Sorgo. Inicialmente, cem sementes de cada genótipo foram separadas, desinfestadas em solução de NaOCl 5% (v/v) sob agitação de 150 rpm, por cinco minutos, enxaguadas por oito vezes com água deionizada e então colocadas para germinar em folhas de papel de germinação umedecido. Essas sementes foram mantidas por 24 horas no germinador a 30 °C e então transferidas para câmara de crescimento, com temperatura ajustada para 27 °C durante o dia e 21 °C durante a noite, permanecendo por 4 dias em um fotoperíodo de 12 horas com fluxo luminoso de 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Após esse período, as plântulas uniformes e sem defeitos aparentes foram transplantadas para copos dosadores de polietileno de 10 mL perfurados na base para acomodar as raízes, e imersos em solução nutritiva de Magnavaca et al. (1987), em pH 4,0 e sob aeração contínua. Após 24 horas de aclimação, o comprimento inicial (CI) das raízes foi obtido. Em seguida, metade das plântulas foi transferida para uma nova solução sem Al, enquanto a outra metade foi colocada em uma solução contendo 27 μM de Al^{3+} (atividade de Al^{3+} livre) e mantidas sob aeração contínua por 5 dias. Após esse período, o crescimento radicular final foi obtido e o comprimento líquido da raiz (CL) foi calculado pela diferença entre o comprimento final e o comprimento inicial de cada plântula nas soluções com e sem alumínio. O crescimento relativo da raiz seminal (CRR) foi calculado pela razão entre o CL na solução contendo Al e o CLR na solução sem Al.

O experimento para avaliar a expressão do gene *SbMATE* foi realizado novamente na câmara de crescimento, sob as mesmas condições descritas anteriormente. Os ápices radiculares foram coletados 5 dias após a exposição ao Al com auxílio de um bisturi, imediatamente congelados em nitrogênio líquido e armazenados a -80 °C até sua utilização. A extração do RNA total foi feita utilizando o kit SV Total Isolation System (Promega), segundo as recomendações do fabricante. Ao final, as amostras foram quantificadas utilizando o espectrofotômetro NanoDrop 1000 (Thermo Fisher Scientific) e a verificação da integridade do RNA foi obtida por meio de eletroforese em gel de agarose 2,0%. A síntese de cDNA, foi realizada a partir de 1,5 μg de RNA total, com o High Capacity cDNA Reverse Transcriptase Kit (Applied Biosystems), conforme as indicações do fabricante. Os ensaios de expressão foram realizados no equipamento 7500 Fast-Real Time PCR (Applied Biosystems) e as condições de reação foram as mesmas descritas por Melo et al. (2019). Genes que codificam ubiquitina (*SbUbqt*-F: CGGCGCATGTATGAACTGT/ *SbUbqt*-R: CGCCATTGTTGTTGCATT) e actina (*SbAct*-F1: TACCCGATTGAGCATGGTATTG/ *SbAct*-R1: TTCTCCCTGTTGGCCTTTG) foram utilizados como referência e a média geométrica entre eles foi utilizada para a normalização dos dados (Vandesompele et al., 2002). A expressão relativa foi obtida utilizando o método $2^{-\Delta\Delta C_t}$ com três repetições técnicas por amostra (Livak; Schmittgen, 2001).

Resultados e discussão

Na análise de tolerância ao Al, as linhagens utilizadas como controle apresentaram níveis de tolerância conforme o esperado (Figura 1). Considerando que ambas as NILs apresentam o alelo tolerante de *SbMATE*, elas apresentaram tolerância ao Al significativamente maior do que BR007 (Figura 1). No entanto, a tolerância ao Al apresentado pela NIL 2, que apresenta o alelo *SbEPI1* doado pelo parental sensível BR007, foi superior ao apresentado pela NIL 3 e mais próxima à tolerância de SC566 (Figura 1).

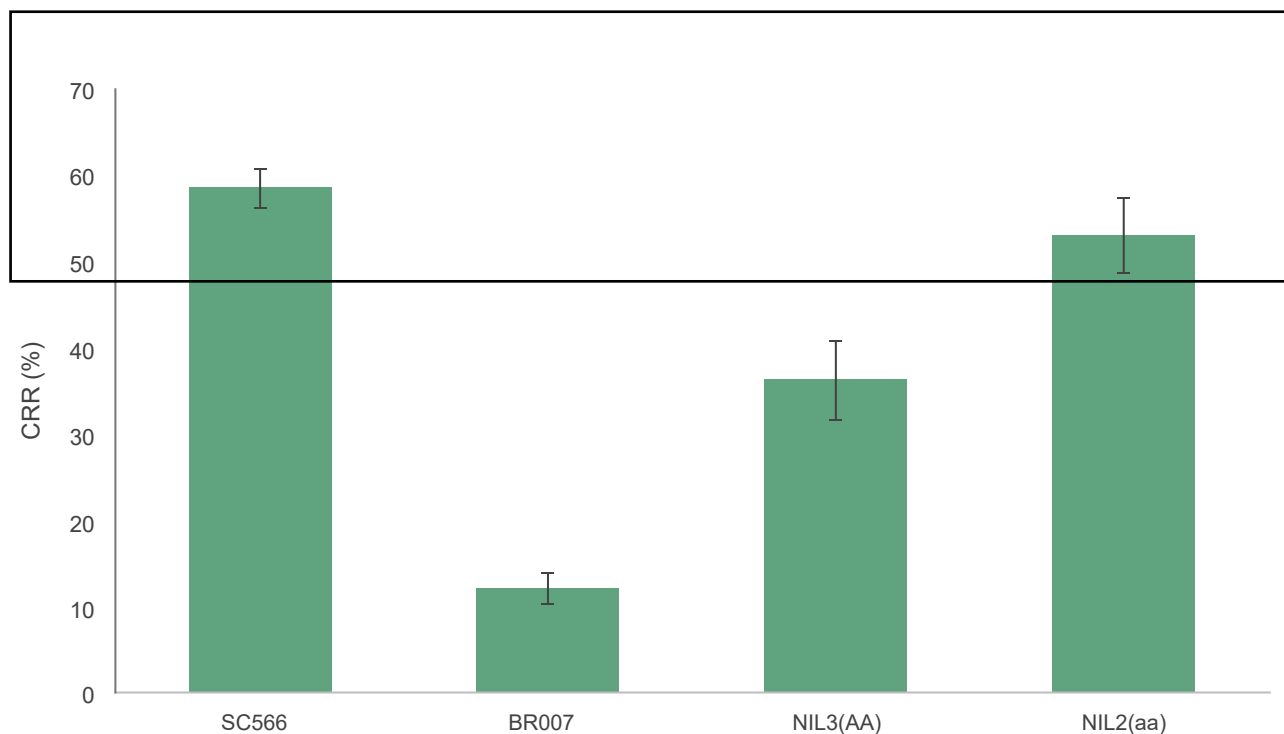


Figura 1. Tolerância ao alumínio nas linhagens controle SC566 e BR007 nas NIL 2 e NIL 3 que apresentam os alelos sensíveis (aa, proveniente de BR007) e tolerante (AA, proveniente de SC566) do gene *SbEPI1*, respectivamente, cultivadas em solução nutritiva contendo {27} μM de Al (pH = 4,0). As barras representam o desvio padrão das médias de CRR.

Da mesma forma, a expressão do gene *SbMATE* em SC566 e BR007 seguiu o padrão característico de cada linhagem. BR007 apresenta baixa expressão de *SbMATE*, que é inibida pelo Al (Figura 2). De forma contrária, SC566 apresenta uma alta expressão relativa de *SbMATE*, que é induzida pelo Al (Figura 2). Embora apresente o alelo tolerante de *SbMATE*, a NIL 3 perdeu o padrão de indução na presença de Al enquanto NIL 2 apresenta o padrão de indução por Al, característico de SC566 (Figura 2).

Analizados conjuntamente, esses resultados demonstram que a NIL 2, que apresenta o alelo doado por BR007 de *SbEPI1*, apresenta maior tolerância ao Al e maior expressão de *SbMATE* induzida por Al. Isso sugere que o alelo doado por SC566 de *SbEPI1* pode estar reduzindo a tolerância ao alumínio na NIL 3 por meio da repressão da expressão do gene *SbMATE* na presença de Al (Figura 2). De forma semelhante, plantas transgênicas de tomate com regulação negativa de uma proteína semelhante a *SbEPI1* mostraram maior tolerância à seca e estresse salino (Huang et al., 2016). Esses fatos corroboram com a atuação de proteínas com *SbEPI1* em um mecanismo de regulação gênica através de silenciamento transcricional mediado por metilação de DNA (RdDM).

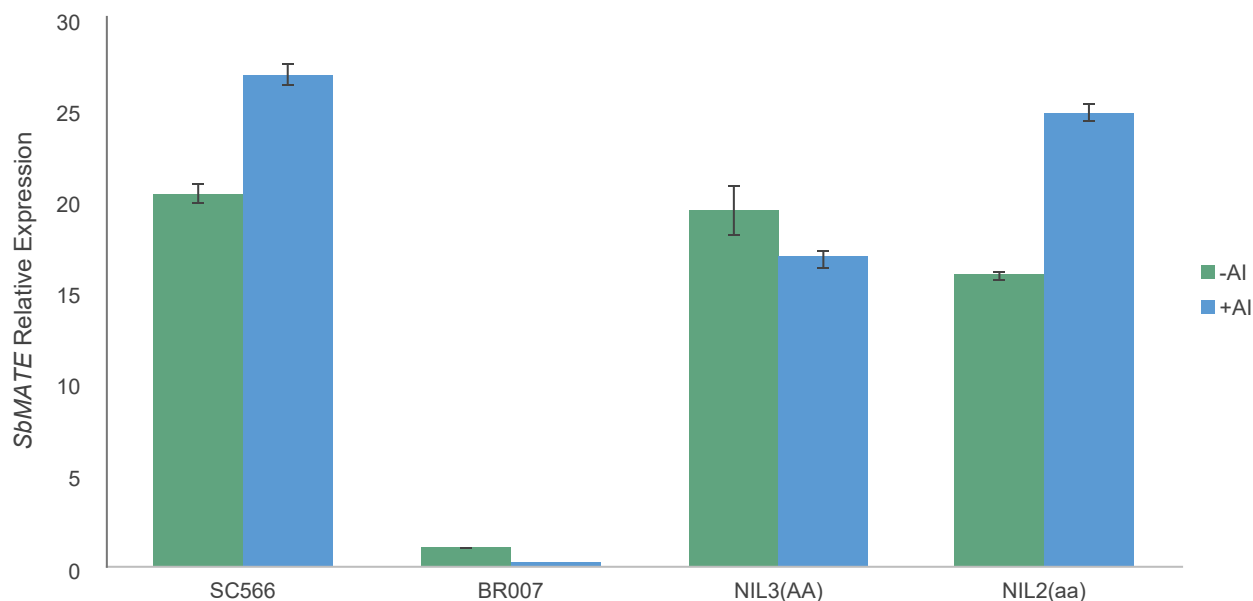


Figura 2. Tolerância ao alumínio nas linhagens controle SC566 e BR007 nas NIL 2 e NIL 3 que apresentam os alelos sensíveis (aa, proveniente de BR007) e tolerante (AA, proveniente de SC566) do gene *SbEPI1*, respectivamente, cultivadas em solução nutritiva contendo $[27] \mu\text{M}$ de Al (pH = 4,0). As barras representam o desvio padrão das médias de CRR.

Conclusões

Os dados obtidos sugerem que a tolerância ao alumínio em sorgo não depende apenas da presença do alelo tolerante de *SbMATE*, mas também de outros fatores que atuam na regulação desse gene. A redução da tolerância a Al e da expressão do *SbMATE* na NIL 3 sugere que o alelo de *SbEPI1* doado por SC566 pode estar modulando negativamente esse gene sob condição de estresse de alumínio. No entanto, estudos futuros serão necessários para a confirmação do papel desse gene no mecanismo de tolerância ao Al em sorgo.

Referências

- HUANG, W.; XIAN, Z.; HU, G.; LI, Z. SIAGO4A, a core factor of RNA-directed DNA methylation (RdDM) pathway, plays an important role under salt and drought stress in tomato. **Molecular Breeding**, v. 36, article 28, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0439-1>.
- KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, n. 1, p. 459-493, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>.
- LIVAK, K. J.; SCHMITTGEN, T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta\text{CT}$ method. **Methods**, v. 25, n. 4, p. 402-408, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>.
- MAGALHÃES, J. V. de; LIU, J.; GUIMARÃES, C. T.; LANA, U. G. de P.; ALVES, V. M. C.; WANG, Y.-H.; SCHAFFERT, R. E.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A.; SHAFF, J. E.; KLEIN, P. E.; CARNEIRO, N. P.; COELHO, C. M.; TRICK, H. N.; KOCHIAN, L. V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature Genetics**, v. 39, n. 9, p. 1156-1161, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng2074>.
- MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O.; CLARK, R. B. Inheritance of aluminum tolerance in maize. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETIC ASPECTS OF PLANT MINERAL NUTRITION, 2., 1985, Madison. **Proceedings** [...]. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1987. p. 201-212.

MELO, J. O.; LANA, U. G. de P.; PIÑEROS, M. A.; ALVES, V. M. C.; GUIMARÃES, C. T.; LIU, J.; ZHENG, Y.; ZHONG, S.; FEI, Z.; MARON, L. G.; SCHAFFERT, R. E.; KOCHIAN, L. V.; MAGALHÃES, J. V. de. Incomplete transfer of accessory loci influencing SbMATE expression underlies genetic background effects for aluminum tolerance in sorghum. **The Plant Journal**, v. 73, n. 2, p. 276-288, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1111/tpj.12029>.

MELO, J. O.; MARTINS, L. G. C.; BARROS, B. de A.; PIMENTA, M. R.; LANA, U. G. de P.; DUARTE, C. E. M.; PASTINA, M. M.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; KOCHIAN, L. V.; FONTES, E. P. B.; MAGALHÃES, J. V. de. Repeat variants for the SbMATE transporter protect sorghum roots from aluminum toxicity by transcriptional interplay in cis and trans. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 116, n. 1, p. 313-318, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1808400115>.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13**: ação contra a mudança global do clima: adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>. Acesso em: 13 maio 2024.

VANDESOMPELE, J.; DE PRETER, K.; PATTYN, F.; POPPE, B.; VAN ROY, N.; DE PAEPE, A.; SPELEMAN, F. Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. **Genome Biology**, v. 3, research0034.1, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1186/gb-2002-3-7-research0034>.

UEXKÜLL, H. R. von; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and soil**, v. 171, p. 1-15, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00009558>.

Avaliação da pastagem em sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico⁽¹⁾

Otávio Augusto Alves Mendes⁽²⁾ e Miguel Marques Gontijo Neto⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. ⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – Este estudo avaliou os efeitos de diferentes níveis de investimento tecnológico (NIT) em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) na produtividade e qualidade da pastagem de *Urochloa brizantha*, cultivar Marandu. Realizado em uma área experimental de pastagem degradada em Curvelo, Minas Gerais, foram implantados quatro tratamentos com níveis crescentes de adubação ao longo de setembro de 2017 até fevereiro de 2024. Os resultados demonstraram que o NIT 4, que recebeu o maior investimento em fertilizantes, apresentou significativamente maior produção de matéria seca (1.015 kg/ha) e melhores características nutricionais da forragem, como maior teor de proteína bruta e melhor digestibilidade. Além disso, o NIT 4 mostrou-se superior em altura média do dossel e na composição bromatológica, indicando melhor adaptação e resposta ao manejo intensivo. Conclui-se que o aumento do nível de investimento tecnológico, com maiores aportes de corretivos e fertilizantes nas pastagens, resultou em benefícios significativos na produtividade e na qualidade da forragem produzida nos sistemas ILPF avaliados.

Termos para indexação: pastagem degradada, gado, ILPF, investimento tecnológico.

Evaluation of pasture in ILPF systems with different levels of technological investment

Abstract – This study evaluated the effects of different levels of technological investment (NIT) in Crop-Livestock-Forest Integration (ILPF) systems on the productivity and quality of *Urochloa brizantha* cultivar Marandu pasture. It was carried out in an experimental area of degraded pasture in Curvelo, state of Minas Gerais, Brazil, where four treatments were implemented with increasing levels of fertilizer throughout September 2017 to November 2021. The results demonstrated that NIT 4, which received the largest investment in fertilizers, presented significantly higher dry matter production (1,015 kg/ha) and better nutritional characteristics of the forage, such as higher crude protein content and better digestibility. Furthermore, NIT 4 was superior in average canopy height and chemical composition, indicating better adaptation and response to intensive management. It is concluded that increased technological investment resulted in significant benefits in pasture productivity and quality, highlighting the viability of ILPF systems as a sustainable strategy for recovering degraded pastures and improving livestock activity.

Index terms: degraded pasture, livestock, ILPF, technological investment.

Introdução

As pastagens brasileiras ocupam 180 milhões de hectares, e 50% delas se encontram em processo de degradação (Dias-Filho, 2014). Uma alternativa para agregar ganhos à atividade pecuária pode ser a associação de árvores com pastagens, constituindo sistemas de Integração Pecuária-Floresta (IPF), que é considerada uma alternativa sustentável para a produção pecuária e florestal nos diferentes biomas brasileiros.

O desempenho desses sistemas depende de alguns fatores, como a identificação de espécies tolerantes ao sombreamento e a adoção de práticas de manejo que assegurem a sua produtividade e persistência no sub-bosque. Para Andrade et al. (2003), no caso das espécies forrageiras, além da tolerância ao sombreamento, é necessário selecionar espécies com boa capacidade produtiva, adaptadas ao manejo e às condições edafoclimáticas da região onde serão implantadas. A adoção de sistemas agrossilvipastoris implica a escolha de espécies ecologicamente e economicamente adequadas às finalidades desejadas, sendo elas, principalmente, a produção de biomassa, aspectos morfoanatômicos, bromatológicos, além de uma boa digestibilidade para o animal.

As informações contidas neste trabalho estão alinhadas com a meta 2.4 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de número 2 (ODS 2), estabelecido na Agenda 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas.

Essa meta visa:

Garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar cada nível de investimento com os dados de produtividade e qualidade da pastagem de *Urochloa brizantha*, cultivar Marandu, conforme a quantidade de adubo ofertada em cada um dos níveis em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) com quatro níveis de investimento tecnológico.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na área experimental na Unidade de Referência Técnica (URT) da Fazenda Lagoa dos Currais, situada nas coordenadas 19°00'29,31" S; 44°17'18,89" O; 775 m de altitude, no município de Cordisburgo, região Central de Minas Gerais. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso e clima Aw (Koppen). Os dados referentes à análise de solo das áreas e de precipitações durante o período experimental são apresentados na Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1. Resultados da análise de solo da área experimental.

NIT	Prof	pH	M. O.	H+Al	Al ³⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SB	CTC	K ⁺	P	V	m
	cm		dag/kg			cmol _c /dm ³				mg/dm ³		%	
1	0-10	4,73	2,7	5,45	0,3	0,5	0,99	30,81	7,03	29,33	1,79	21,75	19,25
	out/20	4,62	2,21	5,3	0,39	0,31	0,7	24,83	6,38	23,82	1,13	17,25	26,83
2	0-10	4,62	2,81	5,83	0,38	0,53	1,13	33,24	7,59	31,58	2,17	23,25	18
	out/20	4,53	2,27	5,67	0,54	0,33	0,79	23,01	6,85	21,89	1,17	17,25	33,08
3	0-10	5	3,01	5,06	0,28	0,77	1,44	49,23	7,38	47,02	2,83	31,33	11,42
	out/20	4,84	2,17	5,25	0,41	0,45	0,94	27,33	6,76	25,93	1,39	22,08	22,75
4	0-10	4,94	3,02	5,15	0,21	0,97	1,83	52,67	8,04	49,88	3,14	36	5,92
	out/20	4,78	2,25	5,12	0,38	0,61	1,14	33,02	6,97	31,28	1,48	26,42	16,92

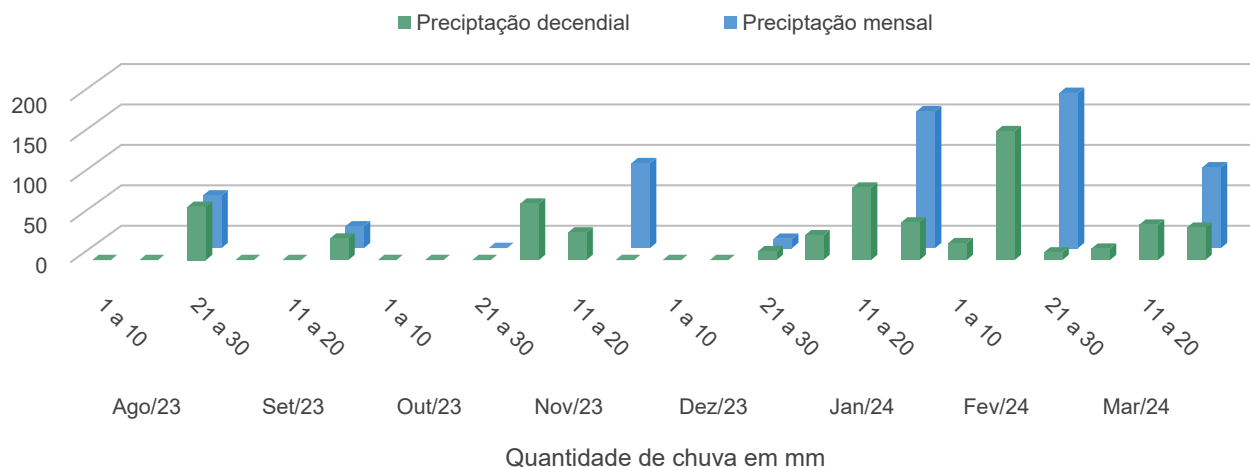


Figura 1. Precipitação decenal e mensal no período avaliado (agosto de 2023 a março de 2024) registrada na Fazenda Lagoa dos Currais, Cordisburgo, MG.

Em 2017, uma área de 44 hectares, utilizada como pastagem por mais de 20 anos e apresentando alto grau de degradação, foi dividida em quatro piquetes de aproximadamente 11 hectares, onde foram implantados sistemas de ILPF com níveis crescentes de investimento tecnológico (NIT) na melhoria do solo e em sistemas de produção mais intensivos. Os sistemas ILPF são composto por renques de eucalipto implantados no espaçamento 20 x 4 m, e nos NIT 1 e 2 foi realizada a renovação direta das pastagens com *Urochloa brizanta* cultivar Marandu nas faixas entre os renques, com a aplicação somente de calcário, gesso, fosfato e nitrogênio em baixas doses. Nos NIT 3 e 4 aumentaram-se as doses desses insumos, além de se acrescentar potássio e micronutrientes, até alcançar condições que viabilizassem maior intensificação do sistema com a renovação indireta das pastagens com a utilização de sorgo forrageiro em consorciado ao capim Marandu. A partir da safra 2017/2018, as faixas entre os renques permaneceram formadas com pastagens de *Urochloa brizanta* cultivar Marandu e foram manejadas de acordo com a disponibilidade de forragem, recebendo adubações complementares nas safras seguintes, de forma a manterem os contrastes entre os NITs (Tabela 2).

Em outubro de 2023, foi realizado um pastejo de homogeneização nas pastagens dos quatro NIT, e os piquetes foram vedados até o dia 8 de fevereiro de 2024, momento em que foram realizadas a avaliação das pastagens. Em cada um dos piquetes foram coletadas quatro faixas entre os renques de eucalipto, previamente georreferenciadas por GPS, de foram retiradas cinco amostras, totalizando 20 amostras por nível de investimento (NI). As amostragens das pastagens foram efetuadas com o auxílio de quadro metálico com área de 1 m² com corte por cutelo a 15 parcela amostrada. Em cada uma das faixas amostradas foram coletadas duas amostras de forragem simulando o pastejo animal, totalizando oito amostras por nível de investimento (NIT).

Após colhidas, as amostras foram pesadas e colocadas em estufa com ventilação forçada durante 72 horas a 55 °C para determinação de teor de massa seca (MS) da forragem. Após a secagem, as amostras de forragem e da simulação de pastejo foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 30 mesh e analisadas quanto aos teores e proteína bruta (PB), digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina cm de altura do solo, sendo também avaliada a altura média da pastagem em cada e matéria mineral (MM) via NIRs com modelos previamente calibrados.

Tabela 2. Quantidades totais de corretivos e nutrientes aplicadas conforme o nível de investimento tecnológico (NIT) em sistema ILPF, no período de setembro de 2017 a fevereiro de 2024 (78 meses), na URT Lagoa dos Currais, Cordisburgo, MG.

Corretivos e nutrientes	NIT 1	NIT 2	NIT 3	NIT 4
	Marandu/ eucalipto	Marandu/ eucalipto	Sorgo/Mar./euc.	Sorgo/Mar./euc.
	Padrão regional	Sistema melhorado	Sistema intensificado	Produção potencial
Calcário dolomítico PRNT 95% (t/ha)	2,3	3,1	3,8	5
Gesso agrícola (t/ha)	1,9	1,9	1,9	2,8
Nitrogênio (kg/ha de N)	99	298,5	480,5	612,3
Fósforo (kg/ha de P ₂ O ₅)	49	103,5	169,5	248,3
Potássio (kg/ha de K ₂ O)	9	18,5	76,5	155,3
Micronutrientes (kg/ha de FTE BR12)	50	50	50	101
Nitrogênio (kg/ha de N)	50	298,5	480,5	612,3
Fósforo (kg/ha de P ₂ O ₅)	49	103,5	169,5	248,3
Potássio (kg/ha de K ₂ O)	9	18,5	76,5	155,3
Micronutrientes (kg/ha de FTE BR12)	50	50	50	101

Os dados de produção e de qualidade da forragem foram submetidos a Anova considerando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 20 repetições para a disponibilidade de forragem e oito repetições para as simulações de pastejo, com as médias submetidas ao teste de Tukey, considerando o nível de 5% de significância, utilizando o R 4.3.3 (R Core Team, 2024).

Resultados e discussão

A análise de variância indicou efeito significativo dos níveis de investimento tecnológicos sobre todas as variáveis avaliadas, exceto para o teor de lignina na forragem de simulação de pastejo.

Em relação à produção de matéria seca de forragem (PMS) e altura do dossel, observou-se uma resposta crescente em função do acréscimo do NIT, com o NIT 4 apresentando maiores altura do dossel e PMS e o NIT 1 apresentando os menores valores, enquanto os NIT 2 e 3 foram similares (Tabela 3). Assim, o maior aporte de nutrientes nas pastagens no período pós-implantação dos sistemas refletiu em um incremento de 149% na produção de forragem do NIT 4 em relação ao NIT 1 e de 50% em relação aos níveis intermediários.

Em relação às características bromatológicas das forragens disponíveis nos piquetes, verificou-se uma melhoria na qualidade da forragem com o aumento das adubações associadas aos níveis de investimento avaliados, com os teores de PB, DIVMS e MM maiores no NIT4, bem como menores teores de FDN, FDA e lignina (Tabela 4).

As respostas de aumento e produtividade e de melhoria da qualidade da forragem em função do aumento de aporte de nutrientes nas pastagens estão em acordo com o relatado na literatura de Lavres Júnior e Monteiro (2006), Costa et al. (2009), Gontijo Neto et al. (2023). Cabe destacar o acréscimo nos teores de MM observados com o aumento dos NITs, indicando um possível “consumo de luxo” de nutrientes do solo pela forrageira.

Tabela 3. Altura média do dossel, teor de matéria seca (MS) e produtividade de matéria seca de forragem (PMS) das pastagens dos sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico (NI). Fazenda Lagoa dos Currais, Cordisburgo, MG.

NI	Altura (cm)	MS (%)	PMS (kg ha ⁻¹)
1	48,00 b*	24,08 b	407,20 c
2	49,00 b	25,50 a	678,20 b
3	53,00 b	22,50 c	673,30 b
4	60,43 a	20,90 d	1.015,60 a

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Características bromatológicas da forragem disponível nas pastagens dos sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico (NI). Fazenda Lagoa dos Currais, Cordisburgo, MG.

NI	PB (%)	DIVMS (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	MM (%)
1	12,01 b**	55,08 b	67,44 a	34,02 a	3,05 a	3,30 c
2	12,00 b	56,00 b	66,46 ab	32,34 b	3,01 a	4,47 b
3	14,02 a	60,20 a	64,70 c	30,37 c	2,26 b	5,81 a
4	13,60 a	61,10 a	65,79 bc	31,20 bc	2,32 b	6,31 a

* PB: Proteína bruta. DIVMS: Digestibilidade in vitro da matéria seca. FDN: Fibra em detergente neutro. FDA: Fibra em detergente ácido. MM: Matéria mineral. **Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme esperado, a coleta seletiva de forragem realizada com a simulação de pastejo refletiu em menores variações entre os teores das variáveis bromatológicas avaliadas em função dos NITs (Tabela 5), indicando que, com o manejo do pastejo adequado, respeitando-se a capacidade de suporte das pastagens, é possível obter níveis de desempenho animal próximos nas pastagens avaliadas.

Os resultados da simulação de pastejo (Tabela 5) confirmam que os NITs 3 e 4 têm melhor desempenho em comparação aos demais, com o NIT 4 se destacando na produção de forragem e na qualidade dos nutrientes.

Tabela 5. Características bromatológicas da forragem da simulação de pastejo nos sistemas ILPF com diferentes níveis de investimento tecnológico (NI). Fazenda Lagoa dos Currais, Cordisburgo, MG.

NI	PB (%)	DIVMS (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)
1	13,40 b	62,69 b	65,93 a	29,57 a	1,78
2	13,62 ab	62,71 b	63,98 b	27,93 b	1,82
3	14,68 a	65,20 a	64,71 ab	28,59 ab	1,64
4	14,67 a	65,76 a	65,14 ab	29,43 ab	1,75

* PB: Proteína bruta. DIVMS: Digestibilidade in vitro da matéria seca. FDN: Fibra em detergente neutro. FDA: Fibra em detergente ácido. MM: Matéria mineral. **Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conclusão

O aumento do nível de investimento tecnológico, com maiores aportes de corretivos e fertilizantes nas pastagens, resultou em benefícios significativos na produtividade e na qualidade da forragem produzida nos sistemas ILPF avaliados.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos proprietários da Fazenda Lagoa dos Currais, pelo suporte nas condução do ensaio; à Associação Rede ILPF e à Fundação Agrisus, pelo apoio financeiro; ao CNPq, pela concessão da bolsa PIBIC; e à Embrapa Milho e Sorgo, pelo suporte operacional e financeiro à execução do projeto.

Referências

ANDRADE, C. M. S. de; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G.; SOUZA, A. L. de. Desempenho de seis gramíneas solteiras ou consorciadas com o *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e eucalipto em sistema silvipastoril. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1845-1850, 2003. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1516-35982003000800006>.

COSTA, K. A. de P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. de; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, M. A. de. Doses e fontes de nitrogênio na nutrição mineral do capim-marandu. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 1, p. 115-123, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/3127>. Acesso em: 5 jun. 2024.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2024.

GONTIJO NETO, M. M.; TEIXEIRA, M. F. F.; RESENDE, A. V. de; SILVEIRA, M. C. T. da; COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M. **Produtividade de forragem da pastagem de *Urochloa brizantha* cv Piatã em sistema silvipastoril em resposta a doses crescentes de nitrogênio**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 256). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159409/1/Produtividade-de-forragem-da-pastagem-de-Urochloa-brizantha-cv-Piata-em-sistema-silvipastoril.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.

LAVRES JÚNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaçu em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 829-837, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000500009>.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2: fome zero e agricultura sustentável**: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 6 jun. 2024.

Produção de silagem no Sistema Antecipe em Sete Lagoas, região Central de Minas Gerais - Safra 2023/2024

Tamiris da Graça Rocha Freitas⁽¹⁾, Emerson Borghi⁽²⁾, Paulo César Magalhães⁽³⁾, Décio Karam⁽³⁾, Tahine Rodrigues dos Santos⁽²⁾ e Isabela Goulart Custódio⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq. ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽⁴⁾ Bolsista CNPq, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – As culturas implantadas na segunda safra para a produção de silagem são frequentemente impactadas por adversidades climáticas, tornando crucial o desenvolvimento de tecnologias que mitiguem esses efeitos e assegurem a produção. Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biomassa das culturas de milho, sorgo e braquiária cultivadas no Sistema Antecipe. O experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, durante o ano agrícola 2023/2024. Dois sistemas de cultivo foram comparados, sendo um com a semeadura pós-colheita da soja e o outro com o Sistema Antecipe, realizado nas entrelinhas da soja 16 dias antes da colheita, utilizando uma semeadora-adubadora específica. A eficiência de semeadura e a de produção de massa verde foram avaliadas. A eficiência de semeadura do milho foi superior a 87% em todos os sistemas Antecipe e pós-soja. Em termos de produção de massa verde, o Sistema Antecipe resultou em ganhos de 3,6 t ha⁻¹ para milho, 15,9 t ha⁻¹ para sorgo e 6 t ha⁻¹ para braquiária, em comparação com a semeadura pós-soja. Esses resultados indicam que o Sistema Antecipe favorece significativamente o desenvolvimento das culturas de segunda safra, revelando-se uma alternativa viável para a produção de silagem na região Central de Minas Gerais. O sorgo foi a cultura mais responsiva a esse sistema de cultivo, apresentando maior ganho de massa verde.

Termos para indexação: cultivo intercalar antecipado, safrinha, braquiária, sorgo, milho.

Silage production in the Antecipee System in Sete Lagoas, Central region of Minas Gerais - 2023/2024 crop season

Abstract – Crops planted in the second growing season for silage production are frequently impacted by adverse weather conditions. It requires the development of technologies that mitigate these effects and ensure production crucial. This study aimed to evaluate the biomass production of corn, sorghum, and brachiaria crops cultivated in the Antecipe System. The experiment was conducted at Embrapa Maize and Sorghum, in Sete Lagoas, MG, during the 2023/2024 growing season. Two cropping systems were compared: one with post-harvest sowing of soybeans and the other with the Antecipe System, carried out between soybean rows 16 days before harvest, using a specific seed drill. Sowing efficiency and green mass production were evaluated. Corn sowing efficiency was greater than 87% in all Antecipe and post-soybean systems. In terms of green mass production, the Antecipe System resulted in gains of 3.6 t ha⁻¹ for corn, 15.9 t ha⁻¹ for sorghum, and 6 t ha⁻¹ for brachiaria, compared to post-soybean sowing. These results indicate that the Antecipe System significantly favors the development of second-crop cultures, proving to be a viable alternative for

silage production in the central region of Minas Gerais. Sorghum was the most responsive crop to this cultivation system, showing the greatest gain in green mass.

Index terms: early intercropping, second crop, brachiaria, sorghum, corn.

Introdução

A produção de silagem tem se consolidado como uma estratégia fundamental para garantir a alimentação do rebanho durante a estação seca, especialmente em regiões com forte atividade pecuária, como a região Central de Minas Gerais. O cultivo de segunda safra destinado à produção de forragem é uma alternativa para os produtores, garantindo alimento para o rebanho na estação seca e minimizando perdas dos sistemas produtivos (Acioly et al., 2022). A forragem pode ser produzida com diversas espécies, como o milho, pela elevada qualidade energética; o sorgo, pela maior eficiência do uso da água; e a braquiária, pela adaptabilidade e potencial de produção de biomassa.

Para garantir a eficiência da produção de silagem na segunda safra, é essencial considerar fatores que afetam o produto final, como a escolha adequada das culturas, o momento da semeadura e a adoção de boas práticas agrícolas (Macedo et al., 2021). O uso de tecnologias de cultivo adaptadas às condições climáticas locais é essencial para assegurar a produtividade e a qualidade da silagem, garantindo uma alimentação estável, nutritiva e sustentável para o rebanho ao longo do ano.

Considerando a vulnerabilidade climática e os sistemas produtivos, o Sistema Antecipe, cultivo intercalar antecipado, surge como uma alternativa tecnológica inovadora que favorece o crescimento e desenvolvimento da cultura durante a segunda safra por reduzir a possibilidade dos efeitos climáticos adversos durante o período (Karam et al., 2020). Esse sistema possibilita antecipar a semeadura de culturas como o milho, o sorgo e a braquiária, em até 20 dias antes da colheita da soja, realizando o plantio na entrelinha da oleaginosa (Borghi et al., 2022; Karam et al., 2020). Embora as plantas das culturas de segunda safra possam sofrer danos mecânicos pela passagem da colhedora de soja, o meristema de crescimento das plantas de milho e sorgo, até o estágio V5, ainda se encontra abaixo da superfície do solo. Por isso, as plantas são capazes de continuar seu crescimento sem prejuízo à produção (Magalhães; Durães, 2008).

Adicionalmente, o Sistema Antecipe permite a expansão do cultivo em regiões antes limitadas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), além de diminuir os custos de produção pela redução no uso de herbicidas dessecantes. Diante disso, esse projeto teve o objetivo de avaliar a produção de biomassa das culturas de milho, sorgo e braquiária cultivadas no Sistema Antecipe, durante a safra 2023/2024, no município de Sete Lagoas, situado na região Central de Minas Gerais.

Os resultados obtidos demonstram que o Sistema Antecipe favorece o desenvolvimento das culturas de segunda safra, sendo uma alternativa viável de produção de biomassa para utilização como silagem. Estes resultados estão alinhados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 das Nações Unidas, mais especificamente para com a meta 2.4: Garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas,

inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG (19° 28'S; 44° 15'W e altitude de 732 m), durante o ano agrícola 2023/2024. O clima local é classificado com Cwa (Köppen, 1948), caracterizado por inverno seco e verão quente, com temperatura média anual de 21,8 °C e precipitação média anual de 1.345 mm. O solo, um Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso (660 g kg⁻¹ de argila), tem sido cultivado há mais de 30 anos com milho e soja em semeadura direta e pousio nas entressafras.

Na safra de verão, a cultivar de soja BRS 5980 IPRO foi semeada, em toda a área experimental, na densidade de 320.000 plantas ha⁻¹. Os tratamentos foram definidos por diferentes sistemas de cultivo: **Tratamento 1** – Milho semeado pós-colheita da soja (pós-soja). **Tratamento 2** – Milho semeado nas entrelinhas da soja (Sistema Antecipe); **Tratamento 3** – Sorgo Antecipe. **Tratamento 4** – Sorgo pós-soja. **Tratamento 5** – Milho + Braquiária Antecipe. **Tratamento 6** – Sorgo + Braquiária Antecipe. **Tratamento 7** – Braquiária Antecipe. **Tratamento 8** – Braquiária pós-soja.

A semeadura de todos os tratamentos foi realizada mecanicamente. Para o Sistema Antecipe foi utilizado uma semeadora-adubadora específica, desenvolvida para este sistema de cultivo (BR 10 2020 009566 8), conforme descrito em Karam et al. (2020), com quatro linhas espaçadas em 0,5 m. A semeadura antecipada ocorreu quando a soja se encontrava em estágio R7 (Farias et al., 2007), 16 dias antes da colheita da soja. Nos tratamentos com braquiária antecipada, as sementes da forrageira foram acondicionadas em uma terceira caixa acoplada à semeadora-adubadora e depositadas no sulco do fertilizante, logo após a sua abertura.

As espécies semeadas foram o híbrido de milho KWS 9668 VIP3 e o híbrido de sorgo granífero K200, ambos de ciclo precoce e braquiária (*Urochloa ruziziensis*). As densidades de semeadura foram de 10 sementes por metro para o sorgo (visando 200.000 plantas ha⁻¹), 3,5 sementes por metro para o milho (objetivando 70.000 plantas ha⁻¹), e para a braquiária foi utilizado 10 kg de sementes ha⁻¹.

A adubação de semeadura para milho e sorgo, incluindo os consórcios com braquiária, consistiu na aplicação de 300 kg ha⁻¹ do formulado 06-30-16. Não houve adubação nos tratamentos que envolveram a semeadura de braquiária isolada.

As variáveis avaliadas foram eficiência de semeadura do milho e sorgo, e a biomassa verde das culturas em ambos os sistemas de cultivo. O cálculo da eficiência de semeadura foi feito pela razão entre o número de plantas emergidas e o número de sementes utilizadas no plantio, expressa em porcentagem. A contagem das plantas e a coleta da biomassa verde do milho e sorgo foram realizadas nas duas linhas centrais de 5 metros de comprimento, em cada parcela. Para a determinação da biomassa verde da braquiária, foram coletados 30 quadros amostrais de 0,25 m², em cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05).

Resultados e discussão

Durante o período experimental foi registrada diferença na precipitação acumulada entre os sistemas de cultivo. No Sistema Antecipe, a precipitação acumulada foi de 157,8 mm enquanto no sistema pós-soja a precipitação acumulada foi de apenas 94,8 mm (Figura 1). Essa variação se deve à diferença de 16 dias entre as datas de semeadura.

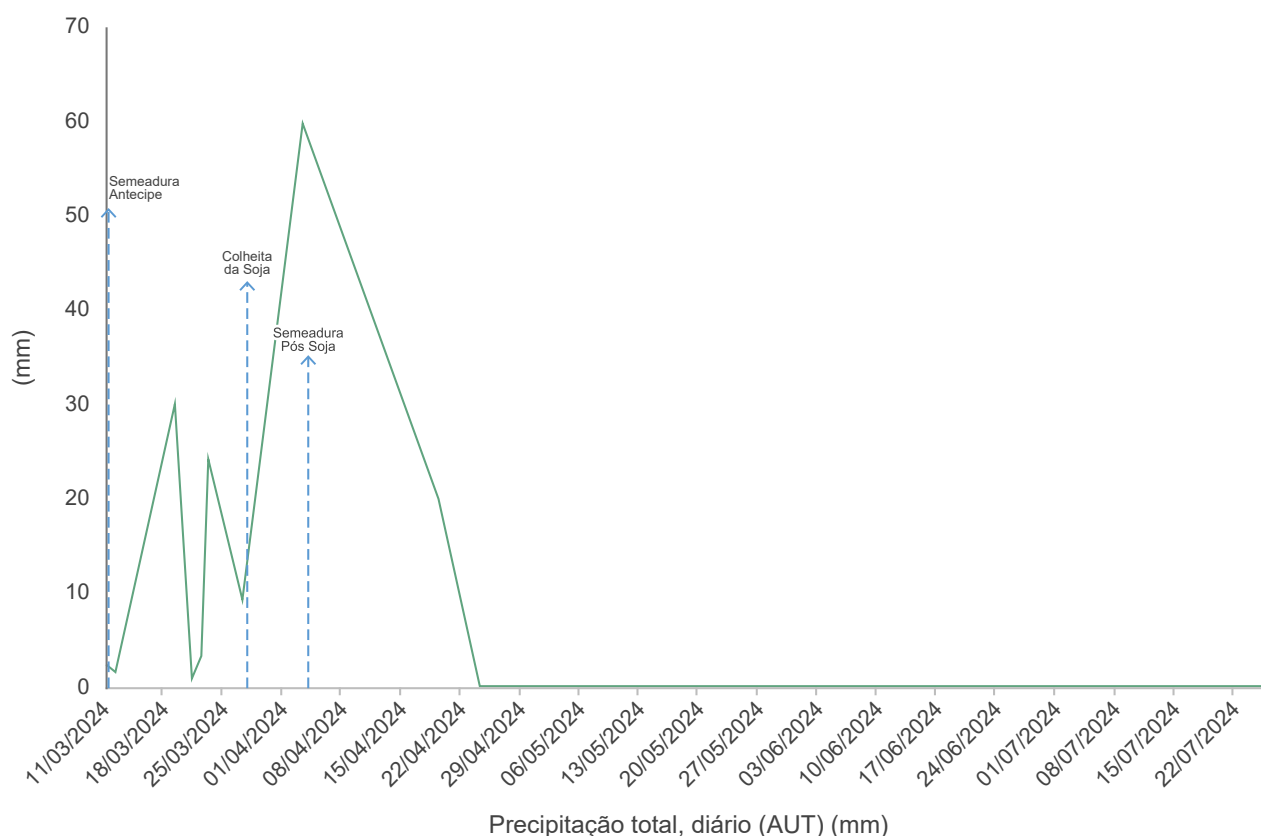


Figura 1. Precipitação total (mm) Sete Lagoas/MG, Embrapa Milho e Sorgo, ano agrícola 2023/2024.

A eficiência de semeadura do milho foi superior a 87% em todos os sistemas Antecipe e pós-soja, bem como a do sorgo no Sistema Antecipe, foi superior (Figura 2). Por outro lado, a menor eficiência na semeadura do sorgo no sistema pós-soja após colheita da soja (Figura 2) pode estar relacionada à presença de palhada sobre a superfície no solo, a qual possivelmente interferiu negativamente a emergência das plantas ou comprometeu a operação de semeadura (Alvarenga et al., 2001).

Quanto à produção de biomassa verde, o milho no Sistema Antecipe não diferiu estatisticamente do milho semeado pós-soja (Figura 3), embora tenha apresentado uma diferença de 3,6 t ha⁻¹ a mais. No entanto, para o sorgo, a antecipação de 16 dias na semeadura resultou em um incremento significativo de aproximadamente 16 t ha⁻¹ (equivalente a 1 t por dia de antecipação) em comparação com o sorgo pós-soja (Figura 3). A adição de braquiária nos consórcios do Sistema Antecipe também contribuiu para o aumento da produção de biomassa, com ganhos de 6,9 t ha⁻¹ no consórcio milho + braquiária e 4,9 t ha⁻¹ no sorgo + braquiária (Figura 3).

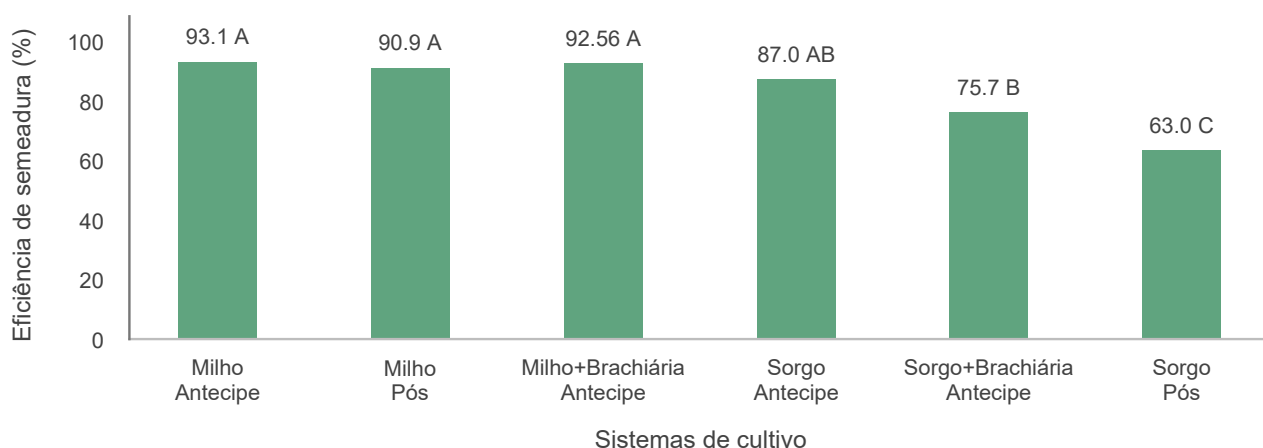


Figura 2. Eficiência de semeadura das culturas na segunda safra em Sistema Antecipe e em pós-colheita da soja. Sete Lagoas, MG, Embrapa Milho e Sorgo, ano agrícola 2023/2024. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

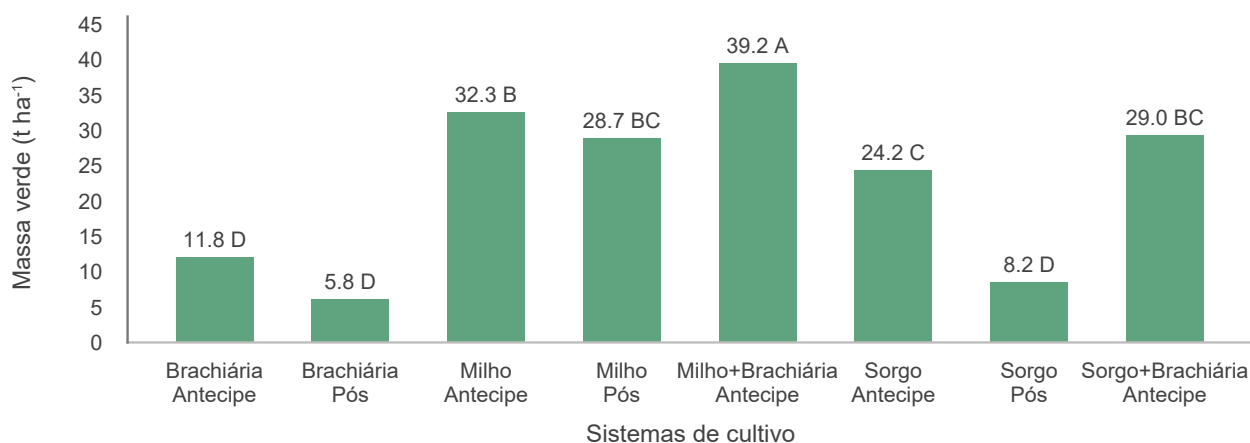


Figura 3. Produção de biomassa verde de milho, sorgo granífero e braquiária (*Urochloa ruziziensis*) em diferentes sistemas de cultivo. Sete Lagoas, MG, Embrapa Milho e Sorgo, ano agrícola 2023/2024. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A braquiária isolada, nos dois sistemas de cultivo, produziu biomassa verde estatisticamente semelhante à biomassa produzida pelo sorgo cultivado após a colheita da soja (Figura 3). Todavia, a diferença de 6 t ha⁻¹ observada a mais no Sistema Antecipe pode indicar uma tendência de maior acúmulo nesse sistema.

Conclusões

O Sistema Antecipe favorece o desenvolvimento das culturas de segunda safra, sendo uma alternativa viável de produção de biomassa para utilização como silagem na região central de Minas Gerais.

O sorgo apresentou maior produção de biomassa quando semeado no Sistema Antecipe, comparado ao sorgo cultivado pós-soja, em condições de estresse hídrico.

Agradecimentos

À Embrapa Milho e Sorgo pela oportunidade, e ao CNPq pelo fomento da bolsa, que possibilitou grande aprendizado.

Referências

- ACIOLY, T. M. da S.; PERAZZO, A. F. Influência de características agronômicas na ensilagem de gramíneas tropicais: revisão de literatura. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 8, n. 26, p. 494-507, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21920/recei72022826494507>.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan./fev. 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/485005/1/Plantascobertura.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- BORGHI, E.; ALMEIDA, D. P.; KARAM, D.; SILVA, J. R. O.; DINIZ, M. N. Cultivo intercalar antecipado de milho segunda safra nas entrelinhas da soja - Antecipe: resultados do ano agrícola 2021/22 em Rio Verde/GO. **Anuário de Pesquisas Agricultura**, v. 5, n. 2, p. 70-83, 2022. 2a safra 2021/2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148129/1/Boletim-241-Consorcio-feijao-caupi-e-capim-piata-como-alternativa-para-renovacao-de-pastagens.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/470308/1/circotec48.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Antecipe: cultivo intercalar antecipado**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126609/1/Antecipe-cultivo-intercalar-antecipado.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con um estudio de los climas de la Tierra**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Economica, 1948.
- MACEDO, A. J. da S.; CESAR NETO, J. M.; SILVA, M. A. da; SANTOS, E. M. Potencialidades e limitações de plantas forrageiras para ensilagem: revisão de literatura. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 15, n. 1, p. 1-17, 2021. Disponível em: <http://www.higieneanimal.ufc.br/seer/index.php/higieneanimal/article/view/618>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHAES, P. C. (ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 3, p. 63-87. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/491701/1/Fisiologia-producao.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

Caracterização fitossociológica de plantas daninhas em sistemas de produção com diferentes estratégias de manejo químico

Tahine Rodrigues dos Santos⁽¹⁾, Décio Karam⁽²⁾, Tamiris da Graça Rocha Freitas⁽¹⁾ e Isabela Goulart Custódio⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal de São João del-Rei, bolsista Pibic/CNPq. ⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. ⁽³⁾ Bolsista CNPq, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Resumo – O presente estudo teve como objetivo caracterizar a comunidade infestante em sistemas de produção soja-milho e soja-braquiária com diferentes estratégias de manejo químico, durante a safra 2023/2024. Foram comparados quatro níveis tecnológicos de manejo, classificados conforme o número de mecanismos de ação dos herbicidas utilizados: Baixa (dois mecanismos), Baixa + (quatro mecanismos), Média (cinco mecanismos) e Alta tecnologia (seis mecanismos). As espécies de plantas daninhas foram identificadas, quantificadas e coletadas ao final do ciclo da cultura da soja, por meio do método do quadrado inventário. Foram determinados parâmetros de frequência, densidade e dominância da população de plantas daninhas. Os sistemas de manejo que integram maior diversidade de mecanismos de ação foram mais eficazes na redução da densidade e dominância das plantas daninhas. Esses resultados ressaltam a importância de estratégias diversificadas para otimizar o controle de plantas daninhas e garantir o desenvolvimento das culturas sem interferências significativas.

Termos para indexação: *Zea mays*, *Glycine max*, planta daninha, sistema de produção, braquiária.

Phytosociological characterization of weeds in production systems with different chemical management strategies

Abstract – This study aimed to characterize the weed community in soybean-corn and soybean-brachiaria production systems with different chemical management strategies during the 2023/2024 growing season. Four technological levels of management were compared, classified according to the number of herbicide mechanisms of action used: low (two mechanisms), low + (four mechanisms), medium (five mechanisms), and high technology (six mechanisms). Weed species were identified, quantified, and collected at the end of the soybean crop cycle using the quadrat inventory method. Frequency, density, and dominance parameters of the weed population were determined. Management systems integrating a greater diversity of mechanisms of action were more effective in reducing weed density and dominance. These results highlight the importance of diversified strategies to optimize weed control and ensure crop development without significant interference.

Index terms: *Zea mays*, *Glycine max*, weed, production system, brachiaria.

Introdução

As plantas daninhas representam um dos principais desafios à produtividade das culturas, competindo por água, luz, nutrientes e espaço, além de atuarem como hospedeiras de pragas e doenças, ocasionando danos diretos (Pitelli, 1987). Dessa forma, um manejo eficaz dessas plantas é essencial para garantir a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo. Para que esse manejo seja eficiente, é necessário o conhecimento técnico, que permite a identificação e quantificação das populações de plantas daninhas por meio de levantamentos sistematizados. A característica fitossociológica da população das plantas daninhas presentes na área é fundamental para compreender a dinâmica populacional e selecionar estratégias de controle mais apropriadas (Concenço et al., 2013).

O manejo das plantas daninhas tem sido predominantemente realizado por meio do controle químico através da aplicação de herbicidas. No entanto, o uso contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação pode levar à seleção de populações de plantas daninhas resistentes, além de provocar problemas ambientais de médio e longo prazo (Mendes; Silva, 2023).

Diante desse cenário, torna-se essencial a realização de estudos que avaliem a composição e dinâmica das comunidades infestantes em sistemas de produção que utilizam o controle químico. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a comunidade de plantas daninhas em diferentes sistemas de produção, manejados com diferentes níveis tecnológicos de controle químico, durante a safra 2023/2024.

Foi possível demonstrar que os sistemas de controle químico de plantas daninhas, que utilizam maior diversidade de mecanismos de ação de herbicidas, são mais eficazes no manejo de plantas daninhas. Estes resultados estão alinhados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável - ODS 2 da Agenda 2030 das Nações Unidas, mais especificamente para com a meta 2.4: Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Nações Unidas, 2024).

Material e métodos

O experimento foi conduzido em uma área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais (19° 26' 18,96" S; 44° 10' 39,72" O). A região possui clima do tipo Aw, conforme a classificação de Köppen, caracterizado por um inverno seco e temperatura média do mês mais frio acima de 18 °C. A precipitação média anual varia entre 1.300 e 1.400 mm, concentrada nos meses de outubro a março (Inmet, 2024).

Os sistemas de produção utilizados foram o plantio de soja no verão com milho e braquiária no outono. A cultivar de soja utilizada foi a NS 6010, semeada em 16 de novembro de 2023, com espaçamento entre linhas de 0,5 m. As culturas em sucessão foram semeadas antecipadamente na entrelinha da soja, utilizando uma semeadora-adubadora específica (BR 10 2020 009566 8), tecnologia desenvolvida pela Embrapa (Karam et al., 2020). O milho KWS 9668 VIP3 foi semeado

na data de 13 de março de 2024, e a braquiária (*Urochloa ruzizienses*) em 1º de março de 2024. A densidade de semeadura foi de três plantas por metro para o milho (60.000 plantas ha⁻¹), de 19 plantas por metro para a soja (380.000 plantas ha⁻¹), e 10 kg de semente ha⁻¹ para a braquiária.

O manejo das plantas daninhas, dentro dos sistemas de produção, foi realizado com herbicidas de diferentes mecanismos de ação, considerando de **Baixa tecnologia (soja-milho)**: empregou dois mecanismos de ação - inibidor da enzima enol-piruvil-chiquimato-fosfato sintetase (EPSPs) e inibidor da fotossíntese no sistema II (PSII); **Baixa + tecnologia (soja-braquiária)**: incluiu quatro mecanismos de ação - inibidor da enzima EPSPs, inibidor da enzima ACCase, inibidor da fotossíntese no sistema II (PSII) e mimetizador de auxina; **Média tecnologia (soja-milho)**: utilizou cinco mecanismos de ação - inibidor da enzima EPSPs, inibidores da Acetolactato sintase (ALS), inibidor da enzima Acetil CoA carboxilase (ACCase), inibidor da fotossíntese no sistema II (PSII) e inibidores da biossíntese de carotenoides (HPPD); e **Alta tecnologia (soja-milho)**: compreendeu seis mecanismos de ação - inibidor da enzima EPSPs, inibidor da enzima ACCase, inibidor da Acetolactato sintase (ALS), inibidor da fotossíntese nos fotossistemas I e II (PSI e PSII), inibidores da biossíntese de (HPPD) e inibidor da fotossíntese no sistema II (PSII).

Em todos os sistemas foi semeado milho no outono, com exceção do sistema Baixa+ tecnologia, no qual optou-se pela semeadura de braquiária. Os mecanismos de ação e o momento de aplicação dos herbicidas aplicados em cada sistema estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Sistemas com diferentes níveis tecnológicos, mecanismos de ação utilizados e momento de aplicação.

Sistema - nível de tecnologia	Número de mecanismos de ação	Culturas					
		Soja				Milho	Braquiária
		Dessecação	Pré	22 DAP	34 DAP	12DAP	53 DAP
Baixa	2	EPSPs		EPSPs	EPSPs	EPSPs + PSII	
*Baixa +	4	EPSPs + Mimetizador de auxina		EPSPs	EPSPs + ACCase		PSII
Média	5	EPSPs + ALS		EPSPs + ACCase	EPSPs + ACCase	HPPD + PSII	
Alta	6	EPSPs + ALS	PSII + PSI	EPSPs + ACCase	EPSPs + ACCase	HPPD + PSII	

EPSPs = glyphosate; ALS = chlorimuron-ethyl; PSI = diquat; PSII = metribuzin; ACCase = fenoxaprop-P-ethyl; ACCase = clethodim; PSII = atrazine; HPPD = tembotrione. **Urochloa ruziziensis* no outono. DAP = Dias Após Plantio.

Os herbicidas foram aplicados com um pulverizador autopropelido equipado com pontas do tipo leque TT110.02 (Tecnologia Teejet), espaçadas a 0,50 m. A aplicação foi realizada com pressão de 3,0 bar e velocidade de 6,0 km h⁻¹, resultando em um volume de calda de 150 L ha⁻¹.

O levantamento da população das plantas daninhas foi realizado após a colheita da soja, empregando o método do quadrado inventário. Para isso, as plantas foram quantificadas e coletadas, utilizando quadros de 0,25 m², lançados 36 vezes em cada sistema de produção, mantendo um espaçamento de 10 metros entre os pontos amostrais. Os parâmetros avaliados foram densidade e dominância conforme equações propostas por Mueller-Dombois e Ellenberg (1974). Posteriormente, os dados foram transformados em densidade e dominância de plantas por hectare.

$$\text{Densidade (DEN)} = \frac{\text{nº de indivíduos}}{\text{área total amostrada}}$$

$$\text{Dominância (DOM)} = \frac{\text{Biomassa seca dos indivíduos}}{\text{área total amostrada}}$$

Resultados e discussão

No levantamento realizado na pós-colheita da soja foram identificadas 16 espécies de plantas daninhas, distribuídas em 8 famílias (Tabela 2). A família Poaceae representou 38% das espécies encontradas, enquanto a família Asteraceae contribuiu com 25%.

As Poaceae se destacam por incluir diversas espécies que infestam lavouras de soja. Em muitas de suas espécies já foram identificados biótipos resistentes a herbicidas inibidores da acetolactato sintase (ACCase) e inibidores da 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs). Da mesma forma, a família Asteraceae, que abriga espécies com alta capacidade de disseminação, também merece atenção, visto que também já foram identificados biótipos com resistência a herbicidas (Gazziero et al., 2024).

A família Commelinaceae apresenta elevada densidade em diferentes culturas, resultado de uma combinação de fatores que favorecem sua proliferação. Dentre suas espécies, destaca-se a trapoeraba (*Commelina benghalensis*) por sua capacidade adaptativa, por conta de suas características morfofisiológicas que facilitam tanto sua dispersão quanto sua reprodução. O rápido

Tabela 2. Famílias botânicas de plantas daninhas encontradas nas safras 2023/2024 de soja/milho e soja/braquiária em toda a área experimental

Família	Nome científico	Nome comum	Ciclo de vida	Formas de reprodução
Amaranthaceae	<i>Amaranthus spp.</i>	caruru	Anual	Semente
Asteraceae	<i>Conyza spp.</i>	buva	Anual	Semente
	<i>Emilia sonchifolia</i>	falsa-serralha	Anual	Semente
	<i>Parthenium hysterophorus L.</i>	losna-branca	Anual	Semente
	<i>Bidens pilosa L.</i>	picão-preto	Anual	Semente
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis L.</i>	trapoeraba	Perene	Semente/hastes
Convolvulaceae	<i>Ipomoea spp.</i>	corda-de-viola	Anual	Semente
Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce hirta (L.) Millsp.</i>	erva-de-santa-luzia	Anual	Semente
Lamiaceae	<i>Leonotis nepetifolia (L.) R. Br.</i>	cordão-de-frade	Anual	Semente
Poaceae	<i>Digitaria insularis (L.) Frdde</i>	capim-amargoso	Perene	Semente/Rizoma
	<i>Digitaria horizontalis Willd.</i>	capim-colchão	Anual	Semente
	<i>Eleusine indica (L.) Gaertn</i>	pé-de-galinha	Anual	Semente
	<i>Cenchrus echinatus L.</i>	capim-carrapicho	Anual	Semente
	<i>Sorghum arundinaceum (Desv.) Stapf</i>	sorgo-selvagem	Anual/Perene	Semente
	<i>Panicum maximum Jacq.</i>	guiné	Perene	Semente/Rizoma
Rubiaceae	<i>Richardia brasiliensis Gomes</i>	poaia	Anual	Semente

crescimento e a capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas dessa espécie contribuem para sua alta presença em sistemas produtivos agrícolas, tornando seu manejo um desafio considerável (Souza et al., 2004).

A predominância das famílias Poaceae e Asteraceae reforça a necessidade da adoção de abordagens diversificadas, sobretudo quando da presença de biótipos que já foram identificados com resistência a herbicidas de mecanismos específicos. Na Tabela 3 pode ser observado os valores do número total de espécies, a densidade e a dominância das plantas daninhas em cada sistema tecnológico.

Tabela 3. Número total de espécies, densidade (DEN) e dominância (DOM) da comunidade de plantas daninhas em cada sistema com os diferentes níveis tecnológicos. Sete Lagoas, MG.

Sistema	Número de espécies	DEN (plantas ha ⁻¹)	DOM (kg ha ⁻¹)
Baixa	13	570.000	287.511
Baixa +	2	13.333	2.444
Média	11	117.777	347.522
Alta	5	36.666	32.655

O sistema de baixa tecnologia apresentou maior número de espécies e como os maiores valores para densidade comparado aos demais sistemas avaliados. Esses resultados sugerem que o manejo com menor nível de intervenção tecnológica no sistema soja-milho favorece a maior disseminação e estabelecimento de plantas daninhas, dificultando o controle e comprometendo a produtividade. A associação de plantas de cobertura ao controle químico de plantas daninhas permite a redução de números de mecanismos de herbicidas a serem utilizados no manejo dessas espécies como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 3.

A densidade e a dominância, observadas na estratégia de Alta tecnologia, foram reduzidas em 61,54% e 88,64%, respectivamente quando comparadas a estratégia que empregou apenas dois mecanismos de ação. Resultados superiores foram observados quando se associou o uso de uma planta de cobertura (estratégia Baixa+), com reduções de 84,61% e 99,15%.

Conclusão

A adoção do sistema de tecnologia Baixa+, que integra quatro mecanismos de ação de herbicidas aliados ao uso da braquiária como planta de cobertura, representa uma alternativa eficiente para a redução da infestação de plantas daninhas.

Sistemas de controle químico que utilizam maior diversidade de mecanismos de ação de herbicidas são mais eficazes no manejo de plantas daninhas.

Referências

CONCENÇO, G.; TOMAZI, M.; CORREIA, I. V. T.; SANTOS, S. A.; GALON, L. Phytosociological surveys: tools for weed science? **Planta Daninha**, v. 31, n. 2, p. 469-482, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000200025>.

GAZZIERO, D. L. P.; LOLLATO, R. P.; BRIGHENTI, A. M.; PITELLI, R. A.; VOLL, E. **Manual de identificação de plantas daninhas da cultura da soja**. 3. ed. atual. Londrina: Embrapa Soja, 2024. 130 p. (Embrapa Soja. Documentos, 274). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1166619/1/DOC-274-3-ed.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

INMET. **Dados climáticos históricos para Sete Lagoas, Minas Gerais**. 2024. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Anteclipse**: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1126609/1/Anteclipse-cultivo-intercalar-antecipado.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2024.

MENDES, K. F.; SILVA, A. A. da. (org.). **Plantas daninhas**: herbicidas. São Paulo: Oficina de Textos, 2023.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley & Sons, 1974.

NAÇÕES UNIDAS. **Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2**: fome zero e agricultura sustentável: erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 13 maio 2024.

PITELLI, R. A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.

SOUZA, F. H. D. de; ALVES, E.; ALVES, A. T. **Trapoeiraba**: problema para a produção e comercialização de semente de capim. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 10 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado técnico, 48). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/46853/1/Comunicado48.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

Apoio

