



XVII Seminário Nacional de **Milho Safrinha**

Preservar e Produzir

28 a 30 de Novembro de 2023
Campo Grande - MS

LIVRO DE PALESTRAS





XVII Seminário Nacional de
Milho Safrinha

Livro de Palestras

Preservar e Produzir

28 a 30 de Novembro de 2023

Campo Grande - MS

Gessi Ceccon e Marciana Retore
Editores Técnicos

Sete Lagoas, MG
Associação Brasileira de Milho e Sorgo
2024

Revisão de texto

Marciana Retore

Editoração eletrônica

Luis Ricardo da Silva

"Os textos contidos nesta publicação são de inteira responsabilidade de seus respectivos autores".

Seminário Nacional de Milho Safrinha (17.: 2023 : Campo Grande, MS).

Preservar e produzir: livro de palestras [do] XVII Seminário Nacional de Milho Safrinha, Campo Grande, MS, 28 a 30 de novembro de 2023 / Gessi Cecon, Marciana Retore, editores técnicos. – Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2024.

PDF (314 p.): il. color.

Modo de acesso: <http://www.abms.org.br>.

ISBN: 978-65-990845-4-6

1. Milho safrinha. 2. *Zea mays*. 3. Consorciação de cultura. 4. Adubação do solo. 5. Praga de planta. 6. Doença de planta. Cecon, Gessi. II. Retore, Marciana. III. Título.

CDD 633.15 (21. ed.)

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

APRESENTAÇÃO

O Seminário Nacional de Milho Safrinha é promovido pela Associação Brasileira de Milho e Sorgo (ABMS) e realizado por entidades locais, em regiões produtoras de milho safrinha, com enfoque ao debate de problemas relevantes do momento. É o principal fórum brasileiro de discussão e divulgação de tecnologias sobre a cultura.

O cultivo de milho safrinha teve início na década de 1980, devido à crise do trigo, nos estados do Paraná e São Paulo, com sistemas adaptados e gerando baixas produtividades. Mas com a dedicação de empresas, pesquisadores, técnicos e agricultores passou a ser cultivado em todas as regiões do Brasil. Assim, ganhou espaço e passou a ser maioria em área e produção, atualmente compondo a sucessão “soja/milho safrinha”. Esta 17ª edição, pela terceira vez em Mato Grosso do Sul, foi realizada pela Fundação MS, de 28 a 30 de novembro de 2023, em Campo Grande, MS. Reuniu público e palestrantes de todas as regiões produtoras de milho safrinha.

Para compor este livro foram escritos nove capítulos, abordando os principais temas: sistemas de produção de milho safrinha; adubação em sistemas de produção; adubação de sistemas em solos arenosos; biologia do solo e crescimento de milho; complexo de enfezamento; cigarrinhas; pulgões e viroses; doenças foliares e fungicidas; e o consórcio de milho safrinha com capins-braquiárias. Este último, pela cobertura do solo deixada pelo milho e braquiária e pela maior produtividade da soja em sucessão, embasando o tema do evento: preservar e produzir.

Os editores agradecem aos palestrantes que se dedicaram a escrever seu capítulo sobre o assunto abordado no evento, assim como a todos os que contribuíram para a edição do presente livro.

Sumário

Capítulo 1

Principais sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso..... 06

Capítulo 2

Manejo da adubação na cultura do milho safrinha41

Capítulo 3

Adubação de milho safrinha em solos arenosos 72

Capítulo 4

Biologia do solo na nutrição e crescimento da cultura do milho..... 105

Capítulo 5

Complexo de mosaico e enfezamentos do milho transmitidos por pulgões e cigarrinhas.....169

Capítulo 6

Manejo da cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*)..... 179

Capítulo 7

Manejo de pulgões e viroses associadas na cultura do milho safrinha..... 207

Capítulo 8

Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos: fungicidas foliares no controle de manchas e ferrugens do milho safrinha de 2023..... 241

Capítulo 9

Consórcio de milho safrinha com braquiárias..... 283

Capítulo 1

PRINCIPAIS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO SAFRINHA EM MATO GROSSO

Claudinei Kappes¹

Palavras-chave: armazenamento de grãos, restrição hídrica, usinas de etanol.

Resumo: Conhecer as particularidades dos sistemas de produção de milho safrinha nas regiões brasileiras é de fundamental importância por propiciar entendimento e apontamento dos desafios enfrentados pelos produtores. Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi abordar o diagnóstico dos sistemas de produção de milho safrinha adotados em Mato Grosso em 2023. O milho safrinha é uma das culturas que tem apresentado os incrementos mais expressivos em área de cultivo, produção e produtividade nos últimos anos. Contudo, o seu cultivo exige planejamento criterioso, por ser considerado cultura de risco, apresentar considerável custo de produção, ser pouco competitivo no mercado e pelo fato de que os preços de vendas apresentam alta dependência do consumo e do montante estocado. Aspectos como a escolha do híbrido, semeadura na época adequada, estabelecimento uniforme e manutenção do estande, correto manejo da adubação e eficiente manejo fitossanitário são requisitos essenciais para os produtores que buscam a exploração do potencial produtivo do milho safrinha. Obviamente, a ocorrência de chuvas regulares se torna fundamental para que tais requisitos sejam potencializados.

¹Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador em Fertilidade do Solo e Adubação, NemaBio Laboratório e Pesquisa Agronômica, Rua das Cerejeiras, 1745C, Jardim Paraíso, CEP 78556-106, Sinop - MT. E-mail: claudinei.kappes@nemabio.com.br

O sucesso na colheita e capacidade de armazenamento do cereal, associado à uma boa comercialização, determinam a permanência dos produtores na atividade. A previsão para a safrinha de 2024 é de pequena redução na área cultivada no estado, devido aos baixos preços de comercialização e ao clima desfavorável.

Introdução

Mato Grosso é detentor da maior área cultivada e produção de milho safrinha no Brasil, seguido do Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás, conforme dados divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2023). Tal pujança produtiva, porém, não foi alcançada da noite para o dia. O milho safrinha começou a ser cultivado no estado na década de 1990. Nessa ocasião, as lavouras eram conduzidas com pouco investimento, baixo nível tecnológico e instaladas tardiamente, e conseqüentemente, as produtividades obtidas eram baixas. Daí o termo “safrinha”.

Passados 30 anos, muita coisa mudou. As pesquisas, lançamento de novos híbridos, adoção da semeadura direta e de novas práticas de manejo pelos produtores, melhorias da qualidade das sementes e do manejo fitossanitário, correção química do solo, desenvolvimento de máquinas e implementos agrícolas com elevado rendimento operacional, utilização de cultivares de soja de menor ciclo na safra principal, associadas à semeadura antecipada (impulsionada pela chegada da ferrugem-asiática-da-soja), permitiram o avanço do nível tecnológico e a expansão significativa na área de cultivo e de

produção de milho safrinha.

É inquestionável o fato de que a soja é a principal cultura em Mato Grosso. Entretanto, se os produtores tivessem insistido em seu monocultivo, as produtividades desta leguminosa seriam ainda menores que as registradas na atualidade. A quantidade de palhada deixada após a colheita da soja, por si só, é pequena. Por outro lado, a considerável quantidade de palhada deixada pelo milho safrinha muito contribui para a ciclagem de nutrientes, manutenção da umidade do solo e para a construção de sistemas de produção mais eficientes ao longo do tempo. Ademais, o milho safrinha é uma alternativa interessante para compor esquemas de rotação de culturas e/ou sucessão com a soja, interrompendo o ciclo de insetos-praga, doenças e determinadas espécies de nematoides. Portanto, a inserção do milho, em época de safrinha, nos mais variados sistemas de produção, teve contribuição fundamental e está sendo um dos fatores responsáveis por viabilizar, agronomicamente, o cultivo da soja no estado.

Embora o milho safrinha venha conquistando importância cada vez maior no cenário agrícola nacional, é sempre prudente recordar que se trata de uma cultura de risco, sujeita às perdas de produtividade por déficit hídrico. É sabido, ainda, o quão grande é o desafio em produzir milho safrinha neste estado, frente aos constantes aumentos no custo de produção e às dificuldades logísticas. Os produtores de milho precisam manter sua atividade agrícola viável economicamente, buscando explorar o máximo potencial produtivo da cultura com o uso eficiente dos

insumos disponíveis. Para isto, é de extrema importância que haja conhecimento e domínio de todas as etapas que compõem o sistema de produção, passando por boas práticas de manejo do solo, estratégia adequada de adubação, escolha adequada do híbrido e da época de semeadura, manejo fitossanitário eficiente, além da colheita, armazenamento e comercialização do cereal.

O conhecimento das particularidades dos sistemas de produção de milho safrinha é de fundamental importância para os profissionais da área técnica, por propiciar o entendimento e o apontamento dos principais desafios enfrentados pelos produtores. Nesse contexto, o objetivo deste capítulo foi abordar o diagnóstico dos sistemas de produção de milho safrinha adotados em Mato Grosso, de maneira enfática para a safrinha de 2023.

Caracterização das regiões e dos sistemas de produção

Mato Grosso é um estado com dimensões continentais. Dada a vasta distribuição do agronegócio no território mato-grossense, o Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (Imea) segmenta o estado em sete regiões (Figura 1), sob o ponto de vista agro econômico, com a finalidade de facilitar os levantamentos de dados e dimensionar a sua economia agropecuária.

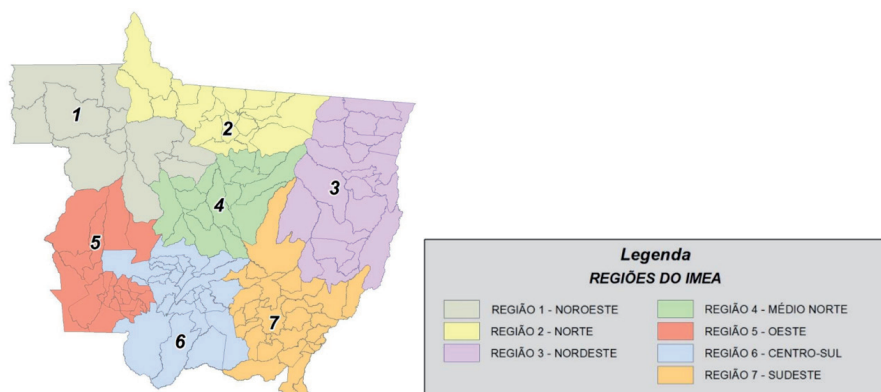


Figura 1. Mapa das divisões das regiões em Mato Grosso adotado pelo Imea.

A região Médio-Norte está sobre o Planalto dos Parecis, que possui condições de relevos, solos e clima propícios para o cultivo de culturas anuais, com destaque aos sistemas de produção com soja, milho safrinha e feijão. Parte dessa região é composta pelo bioma Amazônico com florestas e outra parte por Cerrado. A região Sudeste está sob bioma Cerrado e apresenta relevos mais ondulados, onde se destacam os cultivos de soja, algodão e milho safrinha. Situada sob bioma Cerrado, a maior porção da região Oeste faz parte da formação da Chapada dos Parecis e, assim como o Médio-Norte, possui condições de relevos planos, solos e clima propícios para os cultivos de soja, algodão, milho safrinha, milho pipoca e girassol. A região Nordeste faz parte da Bacia Hidrográfica do Araguaia e possui transições entre bioma Amazônico e Cerrado. Destacam-se a soja e o milho safrinha, sendo que nas últimas safras essa região

tem experimentado os cultivos de algodão e gergelim.

Evidencia-se, portanto, que as principais regiões produtoras de milho safrinha em Mato Grosso estão localizadas sob bioma de Cerrado, com clima tropical chuvoso e estação seca definida. O período chuvoso compreende os meses de outubro a abril. Ressalva-se que os fatores climáticos se distinguem entre as regiões, e são influenciados pela geomorfologia dos locais. Algumas regiões apresentam maior período chuvoso, com as chuvas iniciando em outubro e se estendendo até o mês de maio; são os casos das regiões Médio-Norte e Oeste, o que permite a semeadura da soja e do milho safrinha antecipada em relação às demais localidades. Essas regiões apresentam, no geral, chuvas bem distribuídas e temperaturas do ar favoráveis para o cultivo do milho safrinha. Entretanto, no Sul da região Sudeste é mais comum a presença de veranicos durante o desenvolvimento da lavoura. As precipitações médias anuais que ocorrem nas regiões mencionadas estão entre 1.500 e 1.900 mm e as temperaturas do ar (média anual) entre 22 e 26°C. As altitudes variam de 380 (Sorriso) a 800 m (Alto Garças). Nos locais de maior altitude, as temperaturas do ar durante a noite são amenas, favorecendo maior potencial produtivo da cultura.

Nas principais regiões produtoras é comum o uso de soja superprecoce e/ou precoce no período primavera-verão para viabilizar o cultivo sucessivo do milho safrinha. Esse sistema passou a ter grande aceitação a partir da consolidação da semeadura direta, pois proporcionou redução do tempo entre a colheita da leguminosa e a semeadura do cereal na safrinha

(Kappes et al., 2019). Acredita-se, portanto, que todo milho safrinha em Mato Grosso é semeado após o cultivo de soja.

Tomando-se como referência a evolução no percentual de uso da área de soja com a safrinha de milho, gerada a partir de dados divulgados pelo Imea, é plausível reportar que nas safrinhas de 2022 e 2023, 62% da área cultivada com soja cedeu espaço para o cultivo de milho em sua sucessão (Gráfico 1), ou seja, mais que o dobro do que era ocupado em 2009.

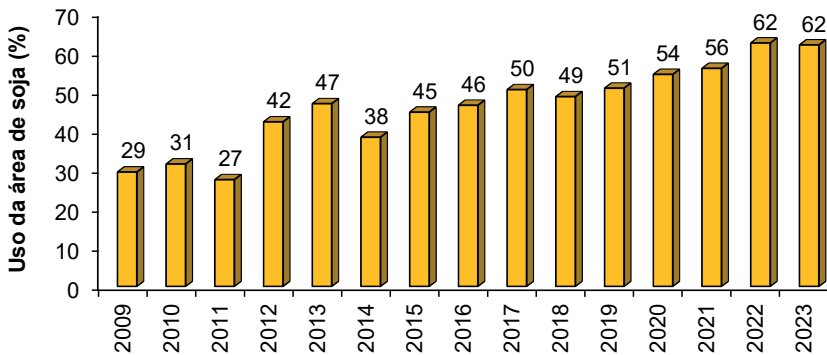


Gráfico 1. Percentual da área de soja cultivada com milho safrinha em sua sucessão em Mato Grosso entre 2009 e 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

Mesmo ocorrendo aumento gradativo ao longo dos anos, em Mato Grosso a adoção do sistema de consórcio entre milho safrinha e braquiária ainda é considerada baixa (menos de 10% da área cultivada). Entre os produtores que adotam o sistema, há predomínio de semeio da braquiária a lançar antes da

operação de semeadura do milho. Em menor proporção, alguns produtores vêm adotando consórcios de milho com crotalárias, porém nesse caso, há dificuldade no controle da soja tiguera e de outras plantas daninhas de folha larga em pós-emergência. A adoção da terceira caixa e a deposição das sementes em linhas intercalares é baixa em relação à modalidade mencionada.

A área não cultivada com milho safrinha, em 2023, após a colheita da soja, foi ocupada por outras culturas, as quais são apresentadas em percentual de uso da área dessa leguminosa: algodão safrinha (9,0%), milheto (8,0%), crotalárias (6,0%), braquiárias (4,0%), gergelim (1,2%), sorgo (0,7%), feijão (0,6%) e girassol (0,1%). Em torno de 8,0% das áreas cultivadas com soja ficam em pousio. O cultivo de crotalárias na safrinha, especialmente a espécie *C. spectabilis*, se consolidou nos últimos anos como ferramenta de manejo cultural de nematoides, visando à redução das populações desses patógenos no solo.

Sobre o tamanho das propriedades que cultivam milho safrinha, ocorre com maior frequência: < 500 ha, entre 500 e 1.000 ha e entre 1.001 e 2.000 ha. Essas três classes representam cerca de 90% das propriedades no estado.

Área cultivada, produção e produtividade

O milho safrinha em Mato Grosso tem apresentado evolução expressiva. Nos últimos 10 anos, a área passou de 3,23 milhões de hectares em 2014 para 7,37 milhões de hectares em 2023 (Gráfico 2), aumento de 128% de acordo com dados da Conab (2023). No mesmo período, a produção estadual saltou de 17,6 para 50,7 milhões de toneladas e a produtividade média

de 91 para 115 sc ha⁻¹, representando incrementos de 188 e 26,4%, respectivamente. A estimativa é que em 2023 confirme-se uma safrinha recorde. Tal evolução consagra o estado como o detentor da maior área cultivada e produção nessa época de cultivo no Brasil.

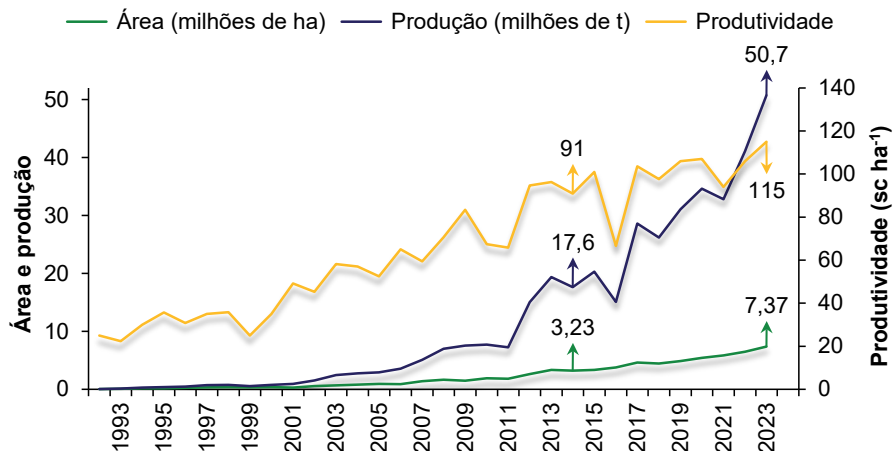


Gráfico 2. Evolução na área de cultivo, produção e produtividade de milho safrinha em Mato Grosso entre 1992 e 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados da Conab (2023).

Para a safrinha de 2023, o Imea tem divulgado dados estimados que permitem inferir aumentos de 13,6, 23,4 e 8,5% na área cultivada, produção e produtividade de milho safrinha, respectivamente, em comparação à de 2022. O considerável avanço na produção na safrinha de 2023 é reflexo do aumento de produtividade, que por sua vez, é fruto de maiores investimentos e o melhor aproveitamento da época de semeadura e das condições climáticas que favoreceram o desenvolvimento das

lavouras nos últimos meses. A área de milho safrinha está diretamente relacionada com a expectativa de mercado futuro, associada à capacidade operacional de semeadura na época recomendada.

As três principais regiões produtoras de milho safrinha em Mato Grosso, em ordem decrescente são: Médio-Norte, Nordeste e Sudeste, razão pela qual estas serão enfatizadas no presente capítulo. Somadas, têm-se a expectativa de que, na safrinha de 2023, as três regiões representem 71,9 e 72,2% de toda área cultivada e produção no estado, respectivamente (Imea). O Médio-Norte, uma das regiões agrícolas mais importantes do País, foi responsável, em 2023, por 35,2 e 36,3% de toda área cultivada e produção, respectivamente (Gráfico 3). Esta região também é a que apresentou a maior produtividade média de milho na safrinha de 2023 (Gráfico 4).

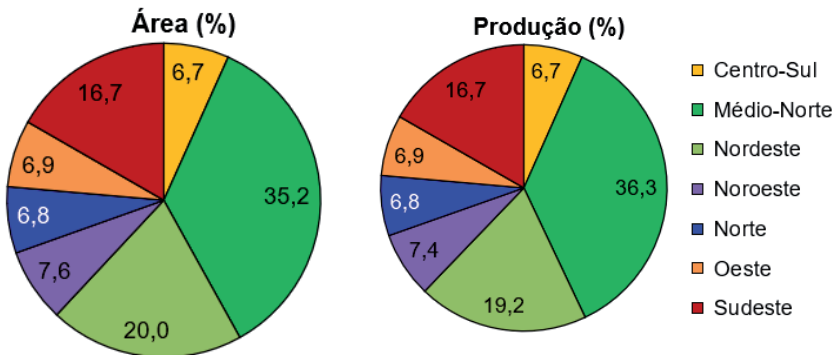


Gráfico 3. Participação das regiões na área de cultivo e na produção de milho safrinha em Mato Grosso em 2023. Fonte: Elaborado a partir de estimativas do Imea (2023).

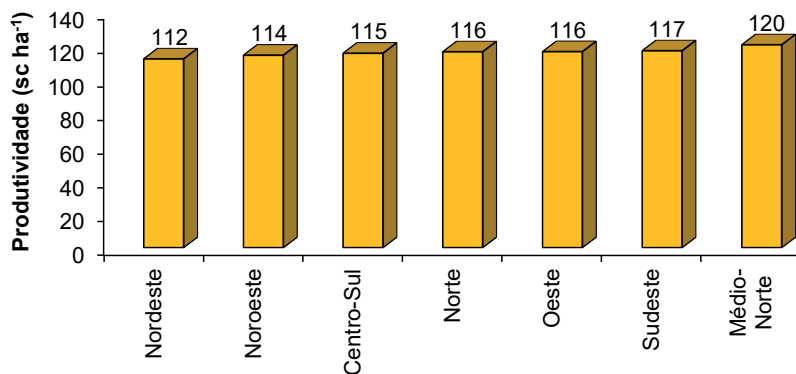


Gráfico 4. Produtividades médias de milho na safrinha de 2023 em diferentes regiões de Mato Grosso. Fonte: Elaborado a partir de estimativas do Imea (2023).

Situado no Médio-Norte, há alguns anos Sorriso figura como o município detentor da maior área cultivada e produção de milho safrinha em Mato Grosso. Em 2023 não foi diferente. O município cultivou em torno de 500 mil hectares e a produção foi acima de 3,0 milhões de toneladas. Outros municípios importantes na área cultivada e produção no estado são Nova Mutum, Diamantino, Nova Uiratã e Lucas do Rio Verde. No entanto, esses não são os municípios que apresentam as maiores eficiências produtivas por unidade de área. Municípios situados em regiões sob maior altitude (superior a 600 m) comumente apresentam as maiores produtividades médias do estado, a exemplo de Alto Garças, Primavera do Leste e Campos de Júlio. As variações nas produtividades médias entre os municípios também são justificadas pelas diferentes condições de solo e

precipitação acumulada mas, principalmente, pela época de semeadura.

Por ser implantado numa época do ano em que está se encaminhando para o encerramento do período chuvoso, a disponibilidade hídrica é o fator de risco que mais compromete a produtividade do milho safrinha (Kappes et al., 2019) (Figura 2), notadamente quando esta ocorre em estádios avançados de desenvolvimento da cultura (provoca redução do peso específico do grão). As oscilações nas produtividades médias entre os anos se devem, na maioria dos casos, à restrição hídrica; foi o que ocorreu nas safrinhas de 2016 e 2021 (Gráfico 2).

Os riscos aumentam consideravelmente com os atrasos na semeadura e/ou na colheita da soja, bem como em anos em que as chuvas cessam mais cedo. Assim, quanto mais cedo a semeadura do milho é realizada, menores são os riscos de perdas de produtividade por restrições hídricas e, portanto, maiores são os investimentos para o seu cultivo. Ocorrem, portanto, variações dos níveis de investimentos no cultivo de milho safrinha dentro de um mesmo ano agrícola, de acordo com a época de semeadura da cultura.

Características dos solos e adubação

Os Latossolos com textura média e argilosa predominam nas principais regiões produtoras de milho safrinha em Mato Grosso. Os níveis de adubação no milho safrinha são condicionados a alguns aspectos agronômicos e econômicos, como híbrido utilizado, época de semeadura, nível de fertilidade

do solo, produtividade almejada, custo do fertilizante e expectativa de preço do grão na colheita. Assim, quanto mais favoráveis tais aspectos apresentam-se, maiores são os investimentos em adubações. O contrário também é verdadeiro.



Figura 2. Lavoura de milho com potencial produtivo limitado pela falta de água na safrinha de 2023, cuja semeadura ocorreu no mês de março em Mato Grosso. Fonte: Claudinei Kappes (2023).

Devido ao histórico de cultivo com soja e as adubações realizadas, principalmente com fósforo, os solos apresentam boa fertilidade química. Por isso, no milho safrinha, esse nutriente é aplicado por uma minoria dos produtores e, quando aplicado, há predomínio para o uso de MAP (11-52-00) em doses variando entre 100 e 150 kg ha⁻¹ no sulco de semeadura. Outro manejo adotado tem sido a aplicação de todo o fósforo demandado pelo sistema soja-milho safrinha na soja, com dose de 90 a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, via superfosfato simples ou triplo a lanço, na maioria dos casos. Exceções ocorrem apenas para as áreas novas e/ou

de aberturas, como as sob pastagens degradadas que, por serem ácidas e pobres em nutrientes, exigem correções prévias.

Na safrinha, de certo modo, as quantidades de fertilizantes aplicadas têm sido baixas, incoerentes com os atuais tetos produtivos. Por questões operacionais, em Mato Grosso tem sido corriqueira a aplicação de nitrogênio somente em cobertura no milho, quando as plantas apresentam entre V4 e V6, apesar de que resultados obtidos em experimentos de rede conduzidos no estado tenham demonstrado vantagens na aplicação desse nutriente no momento da semeadura do milho safrinha (Kappes et al., 2017). As doses médias variam entre 90 e 110 kg ha⁻¹ de N e são consideradas aquém da quantidade mínima exportada para produtividades de 120 sc ha⁻¹. A fonte nitrogenada mais utilizada é ureia convencional, por ser a mais concentrada (45% de N) e, conseqüentemente, de menor custo. A aplicação ocorre a lanço em 100% das propriedades (Figura 3).



Figura 3. Adubação nitrogenada de cobertura no milho safrinha em Mato Grosso. Fonte: Claudinei Kappes (2023).

O cloreto de potássio é o mais utilizado como fonte de potássio. A dose é em torno de 60 kg ha⁻¹ de K₂O. São rotineiras, ainda, aplicações de 350 a 450 kg ha⁻¹ dos formulados NPK 20-00-20 e 30-00-20 entre V3 e V6. Em lavouras mais tecnificadas ocorre a aplicação de formulados à base de NPS.

A adoção da aplicação a lanço em superfície de fertilizantes da soja e/ou do milho é quase que generalizada nas regiões Médio-Norte e Oeste. No Sudeste e Nordeste os produtores têm sido mais conservadores, devido a maior probabilidade de veranicos e por haver ainda solos em etapas de construção da fertilidade, respectivamente.

O uso de micronutrientes é insignificante, tendo adoção em casos específicos. Quando optado, ocorrem aplicações de zinco via tratamento de sementes e/ou foliar e de manganês exclusivamente via foliar, normalmente em V4/V5, em mistura com glifosato em híbridos RR.

Alguns produtores usam *Azospirillum brasilense* em 100% da área. Mas, em âmbito estadual, a frequência de uso é mediana. Quando usado, predominam aplicações no tratamento de sementes e no sulco de semeadura, utilizando-se equipamentos instalados no chassi da semeadora, constituído por um tanque, bomba pressurizadora, mangueiras e pontas de orifício para jato contínuo que ficam situadas entre os discos duplos dos sulcadores das sementes.

Híbridos e época de semeadura

Os híbridos mais utilizados em Mato Grosso, em percentual da área cultivada, são do tipo simples (75%), triplos (10%) e

outros (15%), onde se incluem variedades, híbridos duplos, milho branco e milho pipoca. Em torno de 80% do milho semeado é transgênico. As tecnologias mais utilizadas, por ordem de importância, são: 1) resistência aos insetos-praga e herbicida; 2) resistência somente aos insetos-praga; e 3) apenas resistência à herbicida, sendo essa última usada em áreas de refúgio. O número de híbridos por propriedade oscila entre três e cinco. Ocorrem variações em função do tamanho das propriedades; as maiores tendem a apresentar maior diversificação de híbridos.

Os principais parâmetros utilizados pelos produtores na definição dos híbridos, em ordem de importância são: potencial produtivo, ciclo, sanidade (grãos ardidos, resistência aos insetos-praga e doenças foliares), biotecnologia, custo da semente, quebramento (presença de *stay green*), empalhamento da espiga e época de semeadura. As informações levantadas para tal definição são obtidas com a empresa obtentora da genética, dias de campo, palestras técnicas, experiências de vizinhos e em resultados experimentais na própria propriedade ou regionais, divulgados por representantes comerciais, consultorias agrônomicas, instituições de pesquisas públicas e privadas.

No que tange ao manejo do solo, predomina o cultivo mínimo. O sistema plantio direto, na essência de seu conceito, não é praticado no estado. A proporção da área que recebe preparo de solo com revolvimento ocorre em casos muito pontuais, considerados críticos para incorporação de calcário e solução de problemas com impedimentos físicos, por exemplo.

Os espaçamentos de 45 e 50 cm entre linhas predominam nas lavouras de milho safrinha, algo em torno de 95% da área cultivada. O principal motivo que justifica o uso desses espaçamentos, além dos comprovados ganhos de produtividade, é maior operacionalidade, uma vez que as semeadoras não necessitam de alterações na mudança de cultivo, no caso da soja e do milho safrinha. Cerca de 3 e 2% da área são cultivados com espaçamentos de 80 a 90 cm e de 76 cm, respectivamente. Esse último é restrito aos produtores de algodão, que aproveitam a mesma semeadora para fazer a semeadura das duas culturas em questão.

Assim como a adubação, a definição da densidade populacional é condicionada ao híbrido e à época de semeadura. Para híbridos de elevado potencial produtivo e semeados em época adequada, com menor probabilidade de restrição hídrica, a população varia de 60 a 65 mil plantas ha⁻¹. Para híbridos de menor potencial produtivo e semeados em época desfavorável, com maior probabilidade de restrição hídrica, a população varia de 50 a 59 mil plantas ha⁻¹.

Cerca de 95% da área de milho é implantada com semeadoras de sistemas pneumáticos de distribuição de sementes, o que tem representado evolução significativa na qualidade da semeadura nos últimos anos, devido à melhor distribuição de sementes proporcionada por esses sistemas. Alta umidade do solo, velocidade de trabalho excessiva, uniformidade de sementes e ataques iniciais de percevejo-barriga-verde (*Dichelops spp.*) são os fatores que mais comprometem o adequado estabelecimento do estande e o desenvolvimento inicial das plantas.

A semeadura do milho safrinha no estado inicia no mês de janeiro e se estende até março, sendo que a concentração ocorre em fevereiro. A época que ocorre maior pico na evolução da semeadura é a primeira quinzena de fevereiro. De acordo com a época de semeadura é possível estabelecer classes de risco ao potencial produtivo, por déficit hídrico, a saber: até 20 de fevereiro (baixo); 21 a 28 de fevereiro (médio); e após 01 de março (alto) (Kappes et al., 2019).

Na região Médio-Norte, comumente a semeadura do milho ocorre mais cedo que nas demais, como pôde ser constatado na safrinha de 2023 (Gráfico 5). Em 24 de fevereiro, a região Médio-Norte encontrava-se com 81% da área semeada, contra 64% na região Sudeste na mesma data. Nota-se que um percentual muito pequeno de área (em torno de 4,0%) foi semeado em condições de alto risco (após 01 de março), o que certamente justifica a maior produtividade média de milho nesta região (Gráfico 4).

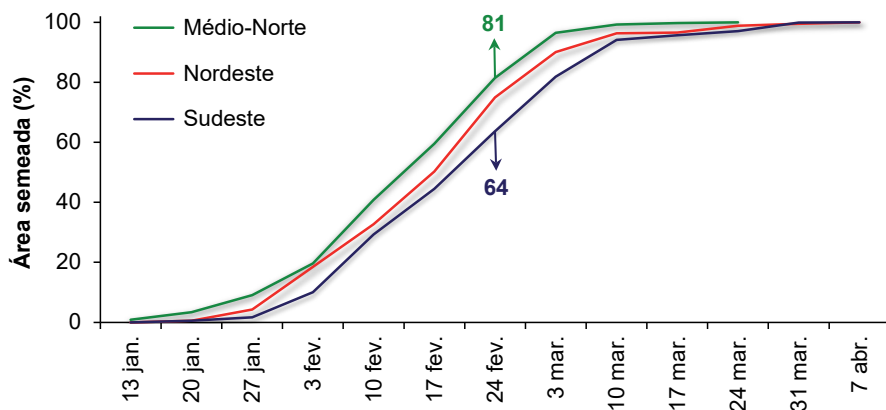


Gráfico 5. Evolução da área semeada com milho safrinha nas três principais regiões produtoras de Mato Grosso em 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

Devido às chuvas iniciarem-se mais cedo, o Médio-Norte e Oeste são regiões privilegiadas por melhores épocas de semeadura da soja e do milho safrinha. No Nordeste e Sudeste, as semeaduras destas culturas costumam ocorrer tardiamente, devido ao retardamento do início das chuvas (Kappes et al., 2019).

Além do uso de cultivares de soja de ciclo precoce, é comum o uso de dessecante em pré-colheita da soja como alternativa para uniformizar a maturação dos grãos e antecipar a colheita, propiciando melhor janela de semeadura do milho em sua sucessão. O ingrediente ativo mais utilizado para esta finalidade tem sido o herbicida diquat, em doses variando entre 200 e 400 g ha⁻¹.

Ocorrência e controle de plantas daninhas

Apesar de que há variação na ocorrência de plantas daninhas entre as regiões, as 10 espécies mais comuns no milho safrinha têm sido: capim-amargoso, capim-colchão, capim-pé-de-galinha, vassourinha, erva-quente, erva-de-santa-luzia, apaga-fogo, picão-preto, trapoeraba e capim-custódio. O capim-amargoso, capim-pé-de-galinha, capim-custódio e erva-de-santa-luzia são as espécies mais comumente relatadas pelos produtores como sendo de difícil controle, devido às suas baixas sensibilidades aos herbicidas aplicados, notadamente em lavouras de milho sem resistência ao herbicida glifosato. Aliás, o controle é feito exclusivamente com herbicidas. Uma outra planta daninha que tem gerado preocupações entre os produtores é a vassourinha-de-botão, que também apresenta certa tolerância às aplicações de glifosato.

O controle de plantas daninhas, após a colheita da soja e antes da semeadura do milho, ocorre somente nas áreas em que o manejo destas foi comprometido durante o cultivo da soja. Caso contrário, o milho é semeado na área limpa e o manejo das espécies daninhas é realizado em pós-emergência da cultura, normalmente, com uma ou duas aplicações dos herbicidas atrazina (1.000 a 1.500 g ha⁻¹) e glifosato (720 a 1.080 g ha⁻¹) quando a cultura se apresenta com três a seis folhas expandidas (V3 a V6). Em torno de 80% da área de milho safrinha em Mato Grosso recebe aplicação de atrazina, o que é justificado pelo seu baixo custo, alta seletividade à cultura do milho e a sua flexibilidade de aplicação (pré e/ou pós emergência), além de

controlar eficientemente a soja tiguera (em muitos casos RR), que deve ser eliminada para atender as normas do vazio sanitário no estado (15/06 a 15/09). Contudo, por não apresentar bom controle de algumas gramíneas, frequentemente, a atrazina é associada a outras moléculas, visando aumentar seu espectro de ação nas áreas problemáticas, como nicosulfuron (40 a 60 g ha⁻¹), tembotriona (70 a 100 g ha⁻¹) e mesotriona (120 a 190 g ha⁻¹). No caso do nicosulfuron, alguns produtores aplicam metade das doses mencionadas, com intuito de reduzir toxidez em híbridos mais sensíveis a tal molécula. A utilização de tembotriona e mesotriona é limitada por apresentarem maior custo em relação aos demais herbicidas.

Os herbicidas pré-emergentes são usados em casos pontuais, como aqueles onde há elevado banco de sementes no solo de plantas daninhas de difícil controle. Estima-se que a área de milho safrinha em Mato Grosso que recebe algum tipo de herbicida em pré-emergência seja inferior a 10%, sendo que o herbicida predominante, neste caso, é o S-metolacoloro (1.440 a 1.900 g ha⁻¹).

Nas áreas sob pousio, após a colheita da soja, é comum a ausência de controle de plantas daninhas e, muitas vezes, associadas à falta de cobertura do solo, acabam contribuindo para o aumento do número de espécies e do banco de sementes no solo (Kappes et al., 2019).

Ocorrência e controle de insetos-praga

Os principais insetos-praga de parte aérea no milho safrinha, em Mato Grosso, continuam sendo a lagarta-do-

cartucho (*Spodoptera frugiperda*), lagartas do gênero *Helicoverpa* e o percevejo-barriga-verde (*Dichelops* spp.). Este último, quase sempre, remanescente das lavouras de soja que antecederam o cultivo do milho e/ou de áreas circunvizinhas que foram cultivadas tardiamente com a leguminosa, propiciando migração da praga para a cultura do milho. A presença da cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) nas lavouras de milho, na safrinha de 2023, foi considerada baixa e poucos foram os relatos de prejuízos devido aos enfezamentos.

Lavouras de milho implantadas após a soja e em áreas em que o controle de plantas daninhas em pós-colheita não foi realizado ou teve eficiência reduzida são as mais prejudicadas pelo ataque do percevejo-barriga-verde, por se tornarem abrigos à praga. Uma estratégia de manejo para estes casos é a adição de inseticidas na calda de aplicação dos herbicidas durante o controle de plantas daninhas, antes da semeadura do milho.

O tratamento de sementes (industrial ou *on farm*) tem adoção generalizada visando o controle inicial dos percevejos. O ingrediente ativo adotado é muito variado, mas com predomínio dos inseticidas neonicotinoides. Em casos de pulverizações na pós-emergência da cultura, estas costumam ser com o uso de organofosforados e misturas de piretroides e neonicotinoides, nas doses recomendadas pelos respectivos fabricantes. O número de aplicações varia de uma a três.

As tecnologias Bt, classificadas de acordo com a eficiência no controle da lagarta-do-cartucho, têm respostas variadas. Híbridos com tecnologias HX têm demonstrado baixa eficiência

no controle desta lagarta, exigindo entre quatro e cinco aplicações de inseticidas, muito próximo ao demandado pelos híbridos convencionais (não Bt). Híbridos com tecnologias PW e VTPRO têm apresentado eficiência intermediária, demandando entre três e quatro aplicações de inseticidas. Isso demonstra que o uso exclusivo dessas tecnologias não é suficiente para conter a população do inseto-praga em nível abaixo do esperado. Híbridos com tecnologias Leptra, Viptera e PWU têm sido os mais eficientes até o momento, dispensando aplicações complementares de inseticidas para a lagarta-do-cartucho.

O controle da lagarta-do-cartucho tem sido realizado com pulverizações sequenciais terrestres e aéreas, dependendo do estágio fenológico da cultura. Dentre as moléculas mais utilizadas destacam-se: metomil, clorantraniliprole, clorpirifós, acefato e lambda-cialotrina + tiametoxam, clorfenapir e indoxacarbe, nas doses recomendadas pelos respectivos fabricantes. O número de aplicações varia entre uma e cinco, dependendo basicamente do nível de infestação da praga, da época de semeadura, da tecnologia agregada ao híbrido e do estágio de desenvolvimento da cultura. Observa-se tendência de aumento das doses e de misturas de diferentes inseticidas.

Entre as pragas que atacam o sistema radicular do milho, destacam-se a larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*) e o percevejo-castanho (*Scaptocoris* spp.), sendo este último muito comum na região Oeste do estado (Sapezal e Campo Novo do Parecis). Além das pragas mencionadas, outras espécies atacam o milho safrinha, porém, com menor grau de agressividade.

Não se tem dúvidas de que o principal método de controle de insetos-praga ainda é o químico. Contudo, o manejo integrado, mediante o uso de bioinseticidas visando o controle de lagartas, percevejos e cigarrinhas aumentou consideravelmente nos três últimos anos.

Ocorrência e controle de doenças

Tem sido cada vez mais comum a incidência de doenças, principalmente as foliares, no milho safrinha em Mato Grosso. Isto se deve a diversos fatores, dentre os quais destacam-se: ausência de rotação de culturas e de manejo integrado; aumento significativo na área de cultivo; utilização de híbridos com elevada susceptibilidade à maioria das doenças tropicais; e manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo (relevante para microrganismos saprófitos).

As doenças mais preocupantes e que ocorrem com maior frequência em Mato Grosso, embora sejam variáveis em função do híbrido utilizado, da região de cultivo e das condições edafoclimáticas, são a ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*) e a mancha-branca, conhecida também como mancha-de-phaeosphaeria (*Pantoea ananatis*).

Os métodos de controle mais adotados são o genético (híbridos resistentes) e o químico (aplicações de fungicidas), em estádios de desenvolvimento pré-estabelecidos. Na safrinha de 2023, cerca de 95% da área cultivada com milho safrinha recebeu ao menos uma aplicação foliar de fungicida no pré-pendoamento; cerca de 70% receberam duas aplicações, sendo uma quando a cultura se encontrava entre os estádios V7/V8

e outra no pré-pendoamento; e cerca de 25% receberam três aplicações, sendo uma quando a cultura se encontrava entre os estádios V7/V8, outra no pré-pendoamento e a última 15 dias após o pré-pendoamento. A intervenção química é realizada, comumente, com fungicidas dos grupos químicos dos triazois e estrobilurinas e misturas.

Na maioria dos casos, a decisão em realizar mais de uma aplicação de fungicida foliar no milho safrinha é baseada no potencial produtivo, na época de semeadura, na previsão climática (probabilidade de chuvas), na suscetibilidade do híbrido e, por fim, na expectativa de preço de venda do cereal. Até a fase de pré-pendoamento, predomina-se aplicações via terrestre com autopropelidos. Após esta fase, as aplicações são realizadas com aeronaves.

Colheita e armazenamento

A colheita do milho safrinha em Mato Grosso inicia-se a partir da última semana de maio e se prolonga até o final de julho e início de agosto. A região Médio-Norte também é onde a colheita ocorre mais cedo que nas demais (Gráfico 6). Em 30 de junho, a região Médio-Norte encontrava-se com 46% da área semeada, contra 21% na região Sudeste na mesma data. Este comportamento é atrelado à época de semeadura, ou seja, semeia-se mais cedo, colhe-se mais cedo.

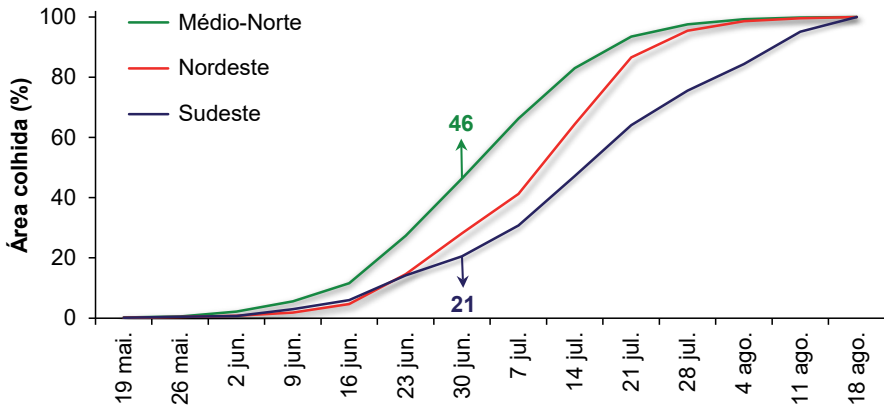


Gráfico 6. Evolução da área colhida com milho safrinha nas três principais regiões produtoras de Mato Grosso em 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

A época de colheita coincide com o período seco do ano (baixa umidade relativa do ar e ausência de chuvas). Esta condição contribui para a colheita dos grãos com baixa umidade, dispensando, em muitos casos, a necessidade de secagem pós-colheita. Como a maioria dos produtores em Mato Grosso não tem estrutura de secagem, a colheita é iniciada quando a umidade nos grãos atinge teores inferiores a 15%. Entretanto, no geral, os produtores evitam finalizar a colheita com umidade muito baixa para minimizar as perdas por acamamento/quebramento de plantas e/ou queda de espigas. Em propriedades que apresentam estrutura de secagem e em que o volume de área é considerado acima da capacidade de colheita, os produtores costumam iniciar a colheita quando o teor médio de umidade nos grãos varia de 18 a 20%.

Como todo produtor de milho safrinha cultiva soja e as máquinas e equipamentos são dimensionados considerando a cultura principal, no caso, a soja, acaba ocorrendo sobra de máquinas para o cultivo de safrinha, haja vista que a área de milho é menor que a área de soja na maioria das propriedades. Além disso, por ser realizada no período seco do ano, a colheita do milho pode ser maximizada, inclusive nos períodos noturnos, o que eleva significativamente o rendimento operacional das colhedoras (Kappes et al., 2019).

Os resultados satisfatórios nas últimas safras, principalmente com a cultura da soja, permitiram aos produtores se capitalizarem e investirem em máquinas e equipamentos agrícolas. Contudo, as propriedades são ineficientes no armazenamento do cereal. Estocagem de milho fora dos silos (a céu aberto) não foi difícil de ser visualizado. Na safrinha de 2023, devido ao recorde de produção, em muitas propriedades esta foi uma das alternativas momentâneas encontradas pelos produtores (Figura 4), assim como o armazenamento em barracões improvisados para esta finalidade. A queda no preço da soja em 2023 também contribuiu para o agravamento do problema, pois muitos produtores não comercializaram todo o volume da leguminosa no anseio de melhoras no preço, competindo por espaço físico de armazenamento. Ademais, muitos produtores intensificaram o uso de silo-bolsa.



Figura 7. Estocagem de milho a céu aberto (esquerda) e em barracão improvisado para armazenamento (direita) na safrinha de 2023 em Mato Grosso. Fonte: Claudinei Kappes (2023).

Em Mato Grosso, o sistema de armazenamento tem entrado em “colapso” nos últimos anos, pois a capacidade estática de armazenagem não tem acompanhado a evolução da produção de grãos, no caso, soja e milho. Apesar da preocupação com este problema ter aumentado e investimentos nesse segmento terem sido realizados constantemente, não se consegue acompanhar a evolução produtiva. O estado somente suporta a produção tendo em vista que os caminhões também são utilizados como ferramenta de armazenamento e alternativas momentâneas terem sido adotadas, como as citadas anteriormente.

Em 2010 e 2011, o volume de grãos produzido se encontrava em equilíbrio com a disponibilidade de capacidade estática de armazenamento (Gráfico 7). Em 2023, Mato Grosso produziu um montante total de 96,3 milhões de toneladas de soja e milho, cuja capacidade estática dos armazéns foi capaz de cobrir 48,3 milhões de toneladas, representando um déficit de 50,2% de todo o volume de grãos produzido, conforme dados divulgados pela Conab (2023). O município de Sorriso, detentor da maior produção nacional de milho safrinha, apresenta também a maior

capacidade estática de armazenamento de grãos no estado.

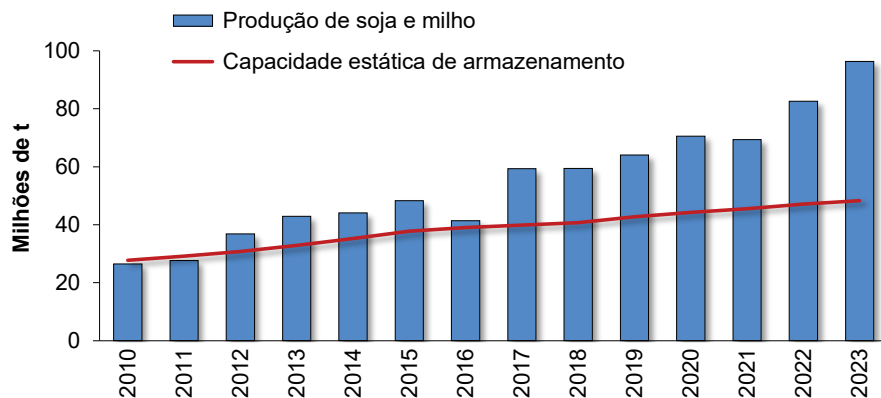


Gráfico 7. Evolução da produção de soja e milho e da capacidade estática de armazenamento dos grãos em Mato Grosso entre 2010 e 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados da Conab (2023).

Comercialização

Considerada de alta liquidez, a maior parte da produção de milho safrinha é comercializada antecipadamente (mercado futuro com as *Tradings* agrícolas) e a outra parte no decorrer da safra, até porque, poucos produtores possuem infraestrutura para armazenar e realizar a venda posterior.

Assim como ocorreu com a soja, a recente queda no preço do milho fez com que muitos produtores postergassem a comercialização do cereal. Até outubro de 2023, 72% da produção havia sido comercializada (Gráfico 8), representando um atraso em comparação à safrinha de 2022, que teve sua

comercialização impulsionada pelos bons preços do milho.

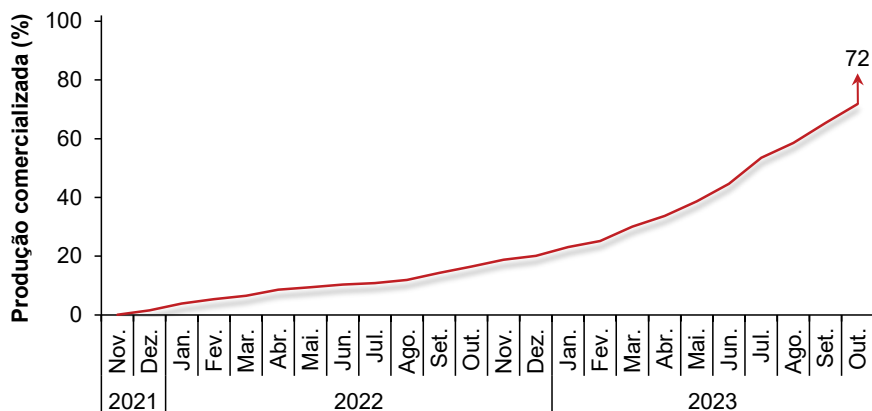


Gráfico 8. Evolução da produção de milho safrinha comercializada em Mato Grosso em 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

No tocante ao destino da produção, a previsão na safrinha de 2023 é de que as exportações avancem 18,2% em comparação à anterior, o que representa 31,2 milhões de toneladas enviados ao exterior (Gráfico 9), conforme dados do Imea. No que se refere ao consumo mato-grossense do cereal, a cada ano este vem aumentando gradativamente e em 2023 a expectativa é expressiva, com uma demanda interna de 14,3 milhões de toneladas, aumento de 19,6% em relação à safrinha anterior. Em termos relativos (dados consolidados), na safrinha de 2022, a liquidez da produção ocorreu da seguinte maneira: exportação (60,3%), consumo no estado (27,2%) e consumo interestadual (12,2%). O montante não exportado é negociado com cerealistas e fabricantes de ração regionais e de outros estados.

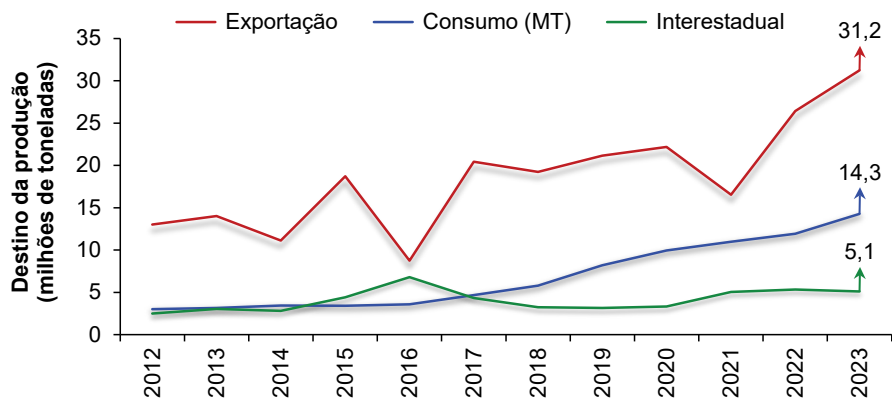


Gráfico 9. Evolução da exportação de milho safrinha, consumo em Mato Grosso e interestadual entre 2012 e 2023. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

Do total de milho consumido no estado, em torno de 70% é destinado à produção de etanol (aproximadamente 10,0 milhões de toneladas). Nos últimos anos, o estado se consolidou na produção de etanol de milho, após receber investimentos bilionários para a construção de usinas. Atualmente, Mato Grosso lidera o ranking, sendo responsável por mais de 80% da produção de etanol de milho no país, seguido por Mato Grosso do Sul e Goiás. O Brasil conta hoje com 18 usinas de produção de etanol de milho em operação, de acordo com a União Nacional de Etanol de Milho (Unem). Dessas, 11 estão instaladas nos municípios mato-grossenses de Lucas do Rio Verde, Sorriso, Sinop, Nova Mutum, Poconé, Nova Marilândia, São José do Rio Claro, Jaciara e Campos de Júlio.

Também é importante enfatizar que, além do montante

demandado pelas usinas de produção de etanol, em torno de 4,0% é destinado à produção de ração animal, atendendo bovinos de corte, suínos e aves.

Custo de produção

O custo de produção do milho safrinha tem aumentado a cada ano em Mato Grosso. Para 2024, a situação tem sido de muita preocupação, haja vista que o mercado futuro do cereal não está tão atrativo como esteve em 2021 e 2022. Outro ponto de cautela é que a semeadura da atual safra de soja, 2023/2024, encontra-se atrasada em relação à anterior devido às poucas chuvas, o que poderá refletir na perda da época ideal de semeadura do milho, com conseqüente redução no potencial produtivo. Essa junção de fatores poderá levar a um menor investimento na cultura por parte dos produtores mato-grossenses.

No custo de produção apresentado a seguir, obtido no Imea, considerou-se milho safrinha de média tecnologia. Nos dados, foram considerados os custeios com insumos (sementes, corretivos/fertilizantes e defensivos) e serviços (operações mecânicas e mão-de-obra). Não foram elencadas outras despesas, como impostos, seguro, armazenamento, administração, depreciação de máquinas/implementos e custo da terra. As despesas totais com insumos e serviços na safrinha de 2023 foram de R\$ 2.750,00 (Gráfico 10). Percebe-se que os corretivos/fertilizantes ocuparam a maior participação sobre o custo de produção do milho safrinha (50%), seguido de sementes (21%), defensivos (19%) e serviços (10%). Em comparação com o fechamento das safrinhas de 2021 e 2022, também para milho de

média tecnologia, os aumentos nos custos de produção foram de 92 e 46%, respectivamente, conforme dados do Imea (2023). Logo, sempre é importante mencionar que estes custos não refletem as particularidades de cada produtor.

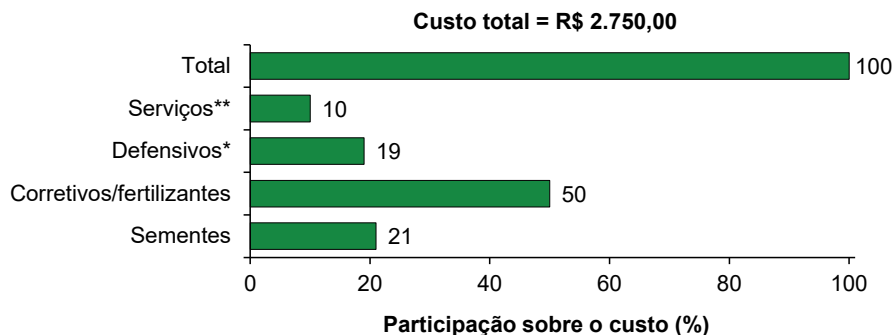


Gráfico 10. Participação das despesas com insumos e serviços para o milho safrinha de média tecnologia em Mato Grosso em 2023. *Fungicida, inseticida, herbicida e adjuvante; **Operações mecânicas e mão-de-obra. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Imea (2023).

Considerações finais

O milho safrinha é a cultura que melhor se adequa na sucessão com a soja, maximizando o uso da infraestrutura na propriedade e, na maioria dos anos, proporcionando lucratividade aos produtores. Ademais, é uma das culturas que tem apresentado os incrementos mais expressivos em área de cultivo, produção e produtividade nos últimos anos. Contudo, o seu cultivo, sobretudo em Mato Grosso, exige planejamento criterioso, por ser considerado cultura de risco (redução

de produtividade por restrição hídrica), por apresentar considerável custo de produção, por ser pouco competitivo no mercado nacional e internacional e pelo fato de que os preços de vendas apresentam alta dependência do consumo e do montante estocado.

A escolha do híbrido adequado à região, semeadura na época adequada, estabelecimento uniforme e manutenção do estande, correto manejo da adubação, eficiente controle de plantas daninhas, pragas e doenças são requisitos técnicos básicos e essenciais para os produtores que buscam a exploração do potencial produtivo do milho safrinha. Obviamente, a ocorrência de chuvas regulares se torna fundamental para que tais requisitos sejam potencializados. Por fim, o sucesso na colheita e capacidade de armazenamento do cereal, associado à uma boa comercialização, determinam a manutenção da viabilidade econômica dos produtores de milho.

A previsão para a safrinha de 2024 é que ocorra pequena redução na área cultivada com milho safrinha no estado, algo em torno de 3,0%. Logo, a confirmação estará condicionada à época de semeadura da soja, ao custo de produção, à oferta e demanda e, conseqüentemente, à expectativa de preço (venda) do cereal.

Referências bibliográficas

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: série histórica das safras. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 18 out. 2023.

IMEA - Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. Relatórios de mercado: milho. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 20 out. 2023.

KAPPES, C.; CECCON, G.; SILVA, A.G. Panorama dos sistemas de produção de milho safrinha na região Centro-Sul do Brasil em 2019. In: PAES, M.C.D.; TIMOSSI, P.C.; IORI, P. (Eds.). Desafios no cultivo do milho safrinha: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2019. p.56-108.

KAPPES, C.; DUARTE, A.P.; SEMLER, T.D.; ONO, F.B. Época de aplicação do nitrogênio em milho safrinha no Mato Grosso e em São Paulo. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 14., 2017. Cuiabá. Anais... Sete Lagoas: ABMS, 2017. p.86-91.

Capítulo 2

MANEJO DA ADUBAÇÃO NA CULTURA DO MILHO SAFRINHA

Aildson Pereira Duarte¹

Palavras-chave: enxofre, fósforo, nitrogênio.

Resumo: São apresentadas as principais inovações do manejo da adubação e os desafios que ainda perduram ou surgiram com a modernização dos sistemas de cultivo do milho safrinha em sucessão à soja. Predomina a aplicação no sulco de semeadura nos estados do Sudeste e Sul do Brasil e exclusivamente a lanço no Centro-Oeste e norte do país. Há necessidade de melhorias na adubação a lanço pois é comum a aplicação do fósforo exclusivamente na cultura da soja e o fornecimento do nitrogênio apenas em cobertura. É crescente o uso da adubação de semeadura a lanço, com ganhos na produtividade, imediatamente antes ou depois da semeadura, complementando-a em cobertura. Houve aumento das doses dos fertilizantes, especialmente do nitrogênio na década de 2010. A principal ferramenta para recomendação são as tabelas de adubação, embasadas nos resultados de análise de solo e na produtividade esperada. Porém, o diagnóstico da fertilidade do solo tem sido pouco utilizado, empregando apenas o balanço de nutrientes para o cálculo das reposições nos sistemas produtivos (adubação de sistema) e fórmulas padrões NPK (ou NK) contendo mistura de grânulos de diferentes matérias-primas.

¹Engenheiro-agrônomo, Doutor em Agronomia, Pesquisador do Instituto Agronômico (IAC), Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1.500, CEP 13.075-630, Campinas - SP. E-mail: duarteaildson@hotmail.com

Essas fórmulas podem não atender à demanda nutricional da cultura e ainda comprometer a qualidade da aplicação. Destacam-se a modernização dos equipamentos de distribuição e o lançamento de novos fertilizantes com melhor qualidade física e eficiência de aproveitamento dos nutrientes pela planta. Acrescenta-se o aumento da disponibilidade de inoculantes para adição de microrganismos benéficos que contribuem para a nutrição vegetal.

Introdução

O Brasil se tornou, recentemente, um grande produtor e exportador mundial de milho devido ao aumento da área e da produtividade na segunda safra. Na primeira metade da década de 2000, o país produzia cerca de 40 milhões de toneladas de milho por ano em pouco mais de 12 milhões de hectares. Já nas duas últimas safras (2021/22 e 2022/23) foram produzidas cerca de 120 milhões de toneladas por ano em 22 milhões de hectares (Conab, 2023). Isso aconteceu quase exclusivamente na segunda safra, cuja participação relativa aumentou de aproximadamente 22% para 76% da produção e da área total de milho. E a produtividade média? Praticamente dobrou no referido período, de 2,6 t ha⁻¹ para 5,6 t ha⁻¹ (Figura 1).

É importante mencionar que o milho safrinha é o cultivado sob sequeiro, em sucessão de culturas, quase sempre após a cultura da soja, requerendo uma abordagem sistêmica. E que, em quase totalidade de área, é adotada a semeadura direta, sem preparo do solo.

Tanto o aumento da área quanto o da produtividade

do milho safrinha são decorrentes do aperfeiçoamento do sistema de produção, destacando-se, entre outros fatores, a antecipação da época de semeadura, o lançamento de híbridos mais adaptados e estáveis e as melhorias na adubação. A ferrugem asiática da soja, que foi tida como uma grande vilã, desencadeou demanda efetiva para o lançamento de cultivares precoces e aptas para a semeadura no cedo, antecipando a sua colheita e, por consequência, a implantação do milho safrinha. Paralelamente, os programas de melhoramento de milho priorizaram a segunda safra e as empresas, com a introdução das tecnologias transgênicas, ampliaram seus investimentos

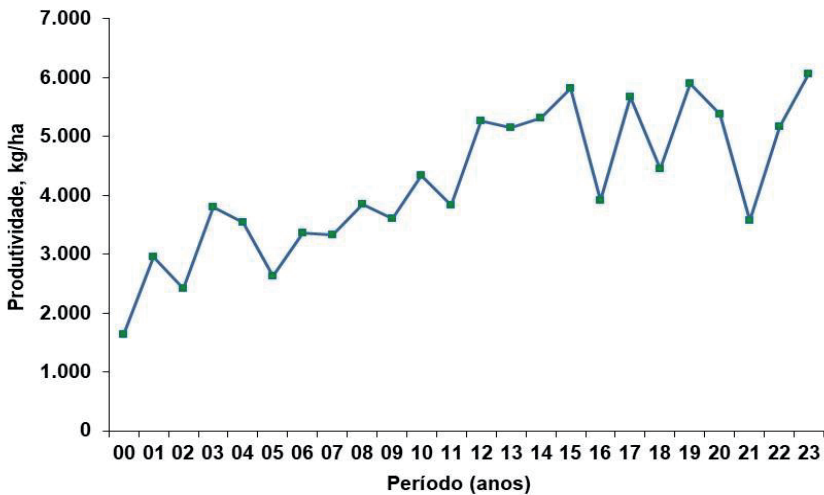


Figura 1. Produtividade do milho safrinha no período 2000 a 2023 (média dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo e Paraná). Fonte: CONAB (2023).

O aumento do potencial produtivo e a redução dos

riscos na segunda safra encorajaram a ampliação da área e dos investimentos em insumos, incluindo os fertilizantes. Apresentaremos a seguir a evolução do manejo da adubação com o objetivo de mostrar as principais inovações e os desafios que ainda perduram ou surgiram com a modernização dos sistemas de cultivo como um todo.

Evolução do manejo

O manejo da adubação do milho safrinha melhorou principalmente quanto ao aumento das doses dos fertilizantes. O modo e época de aplicação dos nutrientes evoluíram, mas seus benefícios na nutrição das plantas são controversos.

Neste tópico foram sumarizadas informações dos principais estados produtores, de acordo com Duarte (2022), dividindo-os em duas macrorregiões: Sul/Sudeste, compreendido por Paraná (PR), São Paulo (SP) e Mato Grosso do Sul (MS), e Centro-Oeste, englobando Goiás (GO) e Mato Grosso (MT).

O milho safrinha era pouco adubado na década de 1990, principalmente quanto ao nitrogênio em cobertura (Figuras 2 e 3). A faixa de doses mínimas de P e K eram maiores nos estados do Centro-Oeste, provavelmente, pela menor fertilidade do solo. Prevalcia o uso de fórmulas iguais ao do milho verão e da soja (sobras), exceto no final deste período, especificamente na região Sul e Sudeste, quando se introduziram fórmulas ricas em N (ex.: 13-13-13).

Na década de 2000, aumentou-se um pouco as doses de N na semeadura e em cobertura, bem como a frequência da

adubação de cobertura. Destaca-se o aumento das doses de N em cobertura nas lavouras mais bem adubadas nos estados do PR, SP e MS. As doses de P aumentaram nos estados de GO e MT, mas apresentaram tendência de redução nos estados do PR, SP e MS, provavelmente, em decorrência do predomínio de fórmulas concentradas em N e com menos P e K (ex.:12-15-15).

A década de 2010 foi caracterizada pelos aumentos das doses e frequências de adubação nitrogenada em todos os estados produtores e pela grande diferenciação no manejo da adubação entre as duas macrorregiões. As doses na semeadura de N, P e K aumentaram substancialmente na região Sul/Sudeste e reduziram no Centro-Oeste. Na maioria das lavouras de GO e MT suprimiu-se a adubação de semeadura, utilizando-se máquinas com mecanismo apenas para distribuição de sementes. Por questões operacionais, na maioria das lavouras, os fertilizantes passaram a ser distribuídos exclusivamente a lanço e o P aplicado somente na soja, com predomínio da aplicação de todos os nutrientes do milho apenas em cobertura.

Acrescenta-se que nas regiões e ou estados novos na produção de milho safrinha, não detalhados neste capítulo, também passou a predominar a adubação do milho safrinha a lanço e apenas em cobertura. Como já mencionado, o principal argumento é operacional, porque requer menor estrutura com a dispensa do suprimento do fertilizante e maximiza o tempo de implantação das lavouras, pois as semeadoras podem operar em alta umidade do solo e/ou do ar, o que não seria possível com o mecanismo de adubação ativo.

Há necessidade de melhorias na adubação a lanço e sua adoção precisa ser mais criteriosa, como será discutido adiante. Resultados de pesquisa evidenciaram as vantagens da aplicação do fertilizante, mesmo que seja a lanço, durante ou muito próximo do momento da semeadura, complementando-a com o nitrogênio em cobertura.

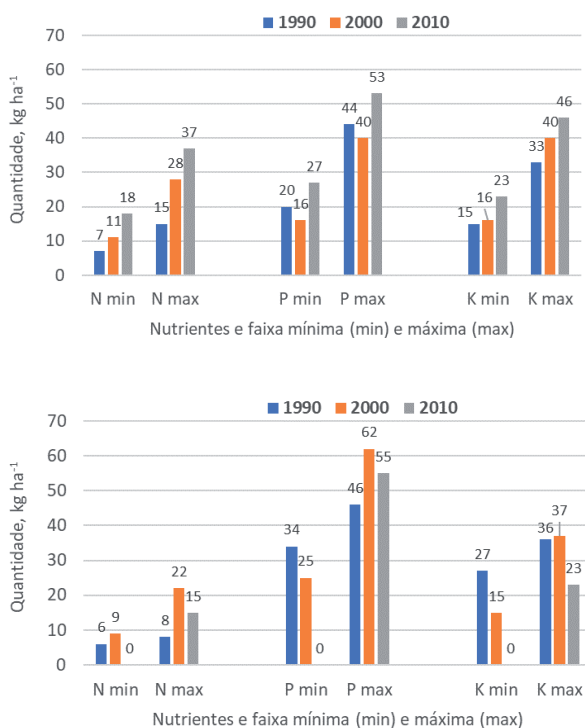


Figura 2. Quantidade dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P, na forma de P_2O_5) e potássio (K, na forma de K_2O) fornecidos na adubação do milho safrinha, calculados pela média nas faixas mínima (min) e máxima (max), nas décadas 1.990, 2.000 e 2.010, em estados da região Sul/Sudeste (Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul) (superior) e da região Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso) (inferior). Elaborado a partir de Duarte (2022).

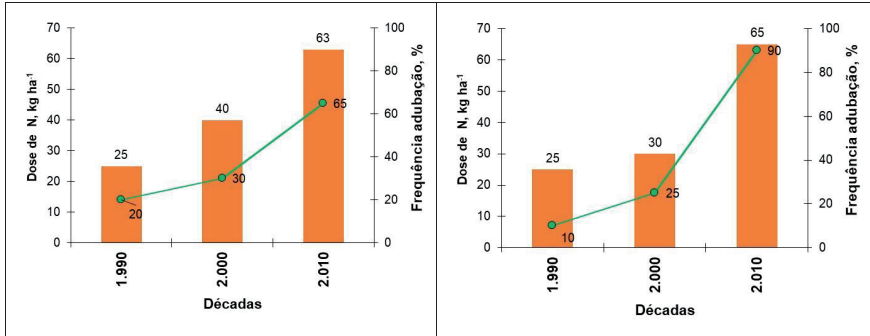


Figura 3. Doses médias e frequência da adubação nitrogenada de cobertura no milho safrinha, nas décadas 1.990, 2.000 e 2.010, em estados da região Sul/Sudeste (Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul) (esquerda) e da região Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso) (direita). Elaborado a partir de Duarte (2022).

Recomendação de adubação

A recomendação de adubação contempla as doses, os modos e as épocas de aplicação dos fertilizantes, bem como as fontes dos nutrientes. Deve ser embasada em resultados de análises do solo para o diagnóstico da acidez e do nível de suficiência dos nutrientes. Abordaremos a seguir o assunto doses e, em item separado, modos e épocas de aplicação dos fertilizantes.

A principal ferramenta para recomendação são as tabelas de adubação, que organizam de maneira fácil e clara os dados das pesquisas, utilizando como principal critério os resultados de análise de solo, seguido da produtividade esperada. Parte-se da premissa que a demanda (acúmulo pela planta) e exportação dos nutrientes nos grãos são proporcionais à produtividade, ou seja, quanto maior a quantidade produzida, maior a necessidade

de adubação para proporcionar boas colheitas e repor os nutrientes exportados nos grãos.

O balanço de nutrientes tem sido utilizado para a recomendação de adubação de sistemas produtivos (culturas em sucessão) em solos de fertilidade naturalmente rica ou construída, com objetivo de repor os nutrientes exportados e evitar o seu empobrecimento. Na Tabela 1 são apresentadas as estimativas de exportação dos nutrientes na sucessão soja/milho safrinha, por faixas de produtividade, incluindo 1 t ha⁻¹ para facilitar a compreensão dos cálculos.

Nota-se que a exportação de nutrientes por tonelada de grãos é maior na soja, por apresentar maior concentração nos tecidos comparado ao milho. A magnitude das exportações de fósforo na mesma área para as duas culturas é geralmente similar porque a produtividade média do milho safrinha (6 a 12 t ha⁻¹) é cerca do dobro da cultura da soja (4 a 6 t ha⁻¹), ao contrário das exportações de N, K e S, que são sempre mais expressivas nas lavouras de soja.

Tabela 1. Estimativa da exportação de nutrientes nos grãos nas culturas de soja e milho por faixa de produtividade

Soja					Milho				
Produ- tividade	Exportação Nutrientes				Produ- tividade	Exportação Nutrientes			
t ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	t ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
 kg t ⁻¹ kg t ⁻¹			
1	54,0	11,0	22,7	5,4	1	14,0	6,0	4,5	1,0
4	216	44	91	22	6	84	36	27	6
5	270	55	113	27	8	112	48	36	8
6	324	66	136	32	10	140	60	45	10

Fonte: Elaborado a partir dos dados de Embrapa Soja (2013) e Duarte et al. (2018, 2019).

A Tabela 2 contém a recomendação de doses de N para o milho desenvolvida pelo IAC, no Estado de São Paulo, que integra todas suas categorias de cultivo, incluindo o milho safrinha. Na referida tabela, foi destacada apenas as classes de resposta média e baixa porque se atêm ao cultivo anterior de leguminosas, no caso, a soja, e as faixas de produtividade compatíveis com a realidade do milho safrinha (6 a 12 t ha⁻¹). Como em ambiente tropical, a análise de solo não é um bom indicador da disponibilidade de N para as plantas, estima-se a resposta do milho a este nutriente a partir do histórico de uso da área (tipo de cultura ou pousio) e da granulometria do solo. Quanto mais arenoso, maior a chance de perdas por lixiviação e, conseqüentemente, a necessidade de adubação nitrogenada.

Tabela 2. Recomendação de adubação nitrogenada (semeadura mais cobertura) para a cultura do milho de acordo com a produtividade esperada e a classe resposta a nitrogênio, conforme o Boletim IAC 100.

Produtividade esperada	Classes de resposta a nitrogênio	
	Média	Baixa
t/ha	----- kg/ha de N -----	
< 6	60	30
6-8	90	60
8-10	120	90
10-12	140	110

⁽¹⁾ As classes de resposta esperada a nitrogênio têm o seguinte significado:

Média resposta esperada: milho após soja, em solos de textura intermediária.

Baixa resposta esperada: milho após soja ou outra leguminosa no verão, em solos argilosos. Fonte: Adaptado de Duarte et al. (2022).

Em geral, recomenda-se cerca de 10 a 12 kg de N para cada tonelada de grãos de milho quando cultivado em solo argiloso (já computado o crédito de N da soja), que é inferior à exportação de 14 kg por tonelada citada na tabela 1. Como essa inferência é embasada em resultados médios, em situações específicas pode ocorrer retorno econômico com doses maiores (ex.: pouco N residual da soja, semeadura no cedo e chuvas excessivas no outono-inverno) ou menores.

As doses de N na classe de média resposta, que contempla o cultivo do milho safrinha após soja em solos arenosos, são as mais próximas da exportação. E, na classe de baixa resposta, relativa aos solos argilosos, as doses são menores que a exportação, principalmente quando a produtividade do milho é muito baixa ($< 6 \text{ t ha}^{-1}$). Como as plantas de soja fixam simbioticamente a maior parte do seu nitrogênio, o milho se beneficia pelo N contido nos seus restos culturais, e também pelo potássio e outros nutrientes. Por isso, é comum nas redes de ensaios de adubação, que as doses de máximo retorno econômico sejam inferiores à exportação, especialmente nos solos argilosos, onde as perdas por lixiviação são relativamente pequenas durante a safrinha (Cantarella e Duarte, 1995; Simão et al., 2020). Há controvérsias sobre quais proporções do N acumulado pela soja são provenientes da fixação simbiótica e do solo e se o constante uso pelo milho do “crédito” do N proveniente dos restos culturais da soja pode levar ao empobrecimento do solo.

É importante mencionar que as doses recomendadas de

N não contemplam as perdas por volatilização. Como a ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na cultura do milho no Brasil e ocorrem perdas por volatilização quando é aplicada na superfície do solo, é necessário fazer o acréscimo da dose de maneira proporcional à estimativa das perdas (geralmente, 20% a 40%). O uso da ureia com inibidores da urease, como o NBPT, reduz aproximadamente metade dessas perdas (Duarte et al., 2019). Quando se utiliza nitrato de amônio ou sulfato de amônio não é necessário fazer o referido acréscimo, pois as perdas por volatilização são desprezíveis.

Na Tabela 3 é apresentada a recomendação de doses de fósforo e potássio para o milho e, da mesma maneira que para o N, foi extraída da tabela original apenas as faixas de produtividade compatíveis com o milho safrinha (6 a 12 t ha⁻¹). Optou-se por excluir a faixa de baixa fertilidade do solo (P resina < 16 mg dm⁻³ e K < 1,6 mmol_c dm⁻³ = 62 mg dm⁻³) porque não se recomenda o cultivo de milho safrinha neste tipo de ambiente, por ser antieconômico o uso de altas doses de fertilizantes em ambientes muito restritivos. Ressalta-se que nas tabelas de recomendação de fertilizantes desenvolvidas para os cerrados do Brasil Central, os valores de P e K nas mesmas faixas de suficiência são diferentes do estado de São Paulo, por prevalecerem condições ambientais diferentes, pelo uso do extrator Mehlich e necessidade de interpolar o teor de argila. Por exemplo, o nível crítico do K é 50 mg dm⁻³ para solos com teor de argila maior que 20% (Sousa et al., 2016; Sousa e Lobato, 2004).

As doses recomendadas de P são maiores que a exportação,

principalmente na média fertilidade, porque parte do nutriente fornecido não ficará disponível para as plantas (processo de fixação no solo) e a cultura de milho é muito responsiva à correção deste nutriente no ambiente radicular. Em solos com teores médios e transição médio/alto de P, sugere-se a dose mínima de 30 a 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para assegurar o efeito de arranque inicial, aumentando a dose em função da produtividade, pelo menos 6 kg de P₂O₅ por tonelada de grãos para estimativas de produtividade de grãos acima de 6.000 kg ha⁻¹ (Duarte et al., 2019).

Tabela 3. Recomendação de adubação fosfatada e potássica para a cultura do milho, de acordo com a fertilidade do solo e a produtividade esperada, conforme o Boletim IAC 100.

Produtividade		P resina, mg dm ⁻³ (2)		K trocável, mmol _p dm ⁻³ (3, 4)	
Grãos	Silagem, MF (1)	16 - 40	> 40	1,6 - 3,0	> 3,0
.....t ha ⁻¹		P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹		K ₂ O, kg ha ⁻¹	
< 6	< 45	60	30	40	30
6 - 8	45 - 55	70	40	50	30
8 - 10	55 - 60	90	60	70	40
10 - 12	60 - 65	110	70	90	50

^{w(1)} MF= matéria fresca em plantas com 35% de matéria seca;

(2) Em solos com teores de P acima de 80 mg dm⁻³, aplicar somente 20 a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como adubação de arranque;

(3) Doses recomendadas para a produção de grãos. O milho para silagem exporta grandes quantidades de potássio, as quais devem ser compensadas na cultura subsequente, na ordem de 30 kg de K₂O para cada 10 t de matéria fresca de silagem, de preferência em aplicação a lanço antes do plantio;

(4) A adubação potássica pode ser suprimida quando para teores de K muito altos (>6,0). Fonte: Adaptado de Duarte et al. (2022).

As doses de K são semelhantes à quantidade exportada nos solos férteis (27 quilos por tonelada de grãos, conforme Tabela 1) e superiores à exportação na média fertilidade, especialmente nas melhores produtividades, por ser um dos nutrientes mais acumulados na planta, juntamente com o N.

A recomendação do Boletim 100 do IAC é a mesma para a produção de grãos e forragem para ensilagem. A produção de milho para silagem é crescente e muitas lavouras são de duplo propósito, definindo sua finalidade (silagem ou grãos) depois de implantado. A maior diferença da demanda de nutrientes entre esses dois usos é a maior quantidade exportada de K na planta ensilada em comparação aos grãos. Por isso, quando a lavoura de milho for cortada para silagem, é necessário repor este nutriente na área na proporção de 30 kg de K_2O para cada 10 t de matéria fresca. A aplicação de maior quantidade de K durante o ciclo do milho, além de não resultar em retorno econômico, poderia aumentar desnecessariamente a exportação deste nutriente (consumo de luxo).

A recomendação da adubação leva em consideração aspectos econômicos porque seu benefício na melhoria da produtividade é obtido com aumento de custo na compra e aplicação deste insumo. Assim, no cálculo das doses econômicas dos fertilizantes são empregados, além da própria resposta da cultura, informações sobre o custo do fertilizante e o preço de venda do milho.

A relação de troca de grãos pelos nutrientes N, P e K tem sido muito variável nos últimos anos, tanto o custo dos

fertilizantes quanto o preço do milho (Tabela 4). Os maiores preços dos fertilizantes ocorreram em 2022 e 2023, em decorrência da escassez deste insumo com a guerra entre Rússia e Ucrânia. O preço valorizado dos grãos fez com que, em 2022, as relações de troca permanecessem próximas da média histórica, ao contrário de 2023, com relações muito onerosas para o produtor devido ao menor preço do milho. Historicamente, o nutriente mais caro é o fósforo, em unidade de P_2O_5 , e o mais barato é o potássio, em unidade de K_2O , enquanto o nitrogênio é intermediário (valor referência igual a 11 kg de grãos por unidade de N).

Enquanto os valores médios históricos das doses econômicas são utilizados nas tabelas de recomendação, os obtidos e/ou estimados na safra atual são úteis para ajustar as recomendações técnicas no campo. Quando os valores atuais são desfavoráveis, comparados à média histórica, as recomendações tornam-se mais conservadoras, especialmente em solos de alta fertilidade. Nos anos mais favoráveis, pode-se fazer maiores investimentos na construção da fertilidade do solo, aumentando as doses.

Tabela 4. Preços médios dos fertilizantes e do milho e relação de troca do milho na compra de cada nutriente por ano agrícola ⁽¹⁾

	ANO				
	2019	2021	2022	2023	2024 ⁽²⁾
FERTILIZANTE	Preço do Fertilizante, R\$/t				
Ureia	1.600,00	2.800,00	6.492,00	4.627,00	2.300,00
MAP	2.100,00	4.100,00	8.478,00	6.078,73	2.948,00
KCI	1.900,00	2.800,00	7.123,00	5.150,00	2.550,00
MILHO	Preço do Milho, R\$/sc				
	20,00	70,00	80,00	40,00	40,00
NUTRIENTE	Relação de Troca, kg/kg				
N	11	5	11	15	8
P₂O₅	12	7	12	18	9
K₂O	10	4	9	13	6

⁽¹⁾ Preço dos fertilizantes foram levantados em abril e o do milho após sua colheita, no estado de São Paulo, exceto em 2024; ⁽²⁾ Preços estimados utilizando valores atuais.

A adubação deve fornecer também, quando necessário, enxofre (S) e micronutrientes. As recomendações seguem os mesmos princípios de fósforo e potássio, devendo ser embasadas em resultados de análise química do solo. No caso do enxofre, é necessário conhecer também sua disponibilidade na camada subsuperficial (20-40 cm), visto que geralmente existe um gradiente crescente de concentração no perfil a partir da camada superficial. De qualquer maneira, o S deve ser incluindo na adubação quando seu teor tiver abaixo do nível crítico na camada 0-20 cm (5,0 mg dm⁻³ com extração pelo fosfato de cálcio), com doses variando de 20 a 40 kg ha⁻¹, junto com os demais nutrientes ou isoladamente (Duarte et al., 2022). No mercado existem fontes de S prontamente disponível para as plantas, como o superfosfato

simples e o gesso, e na forma elementar, que requer tempo para ser oxidado a sulfato.

O micronutriente comumente incluído nas adubações via solo é o zinco (Zn), na formulação NPK, em doses entre 2 e 4 kg ha⁻¹. A adubação foliar com Zn poderá ser aplicada em complemento à adubação no sulco de semeadura e, exclusivamente, em solos corrigidos e manejos intensivos. O boro também pode ser aplicado no solo, na formulação NPK, em dose de 2 kg ha⁻¹, em áreas com histórico de deficiência e/ou altas produtividades. Por ser pouco móvel na planta, aplicações foliares são recomendadas apenas no estágio de pré-florescimento em lavouras de alta produtividade (Duarte et al., 2022).

Épocas e modos de aplicação

A aplicação de fertilizantes no sulco era utilizada em quase todas as lavouras de milho até a década de 1990. Essa realidade foi alterada com a expansão da agricultura para a região Centro-Oeste e depois para o Norte e Nordeste, em ambientes de produção muito diferentes e tamanhos de propriedade maiores, comparados aos das tradicionais no Sul e Sudeste. A própria consolidação da segunda safra, com necessidade de colheita da soja e semeadura do milho safrinha quase simultâneos, também estimulou o emprego exclusivo da adubação a lanço para implantar o milho em grandes áreas em curto espaço de tempo.

Predomina o uso do fósforo exclusivamente a lanço nos chapadões do Cerrado. Por ser um nutriente imóvel no solo,

sua correção no perfil requer o revolvimento em profundidade ou aplicação mais profunda via adubadora-semeadora. Mas, na referida região, em solos planos e com fertilidade construída (faixa de suficiência média-alta ou alta), não se tem, na maioria das vezes, observado piores produtividades na adubação a lanço comparado à adubação no sulco de semeadura (Duarte e Kappes, 2017; Ono et al., 2018; Duarte et al., 2023). Obviamente, isso não se aplica aos solos de baixa fertilidade. É importante mencionar que a ocorrência de chuvas abundantes no período de semeadura do milho safrinha, como é comum no Centro-Oeste, pode favorecer o desenvolvimento superficial das raízes e que o uso de espaçamento reduzido (45 ou 50 cm) nas duas culturas em sucessão revolve parte do solo no momento da semeadura.

Nas regiões tradicionais predomina pequenas e médias propriedades e, por vezes, terras onduladas, favorecendo o escoamento superficial dos fertilizantes, e a ocorrência de instabilidade climática tem sido cada vez maior nas épocas de implantação tanto da soja quanto do milho safrinha. Por isso, nessas regiões, recomenda-se quase sempre a adubação no sulco de semeadura, independente da fertilidade do solo.

O assunto épocas de aplicação dos fertilizantes também é complexo, visto que cada nutriente apresenta dinâmica própria no solo e é requerido ao longo do ciclo da planta de maneira específica (marcha de absorção).

O fósforo, pela sua baixa mobilidade no solo e grande importância para o arranque inicial das plantas de milho, é

aplicado no momento da semeadura. A aplicação do fósforo exclusivamente na cultura da soja, omitindo-o no milho safrinha, é realizada em muitas propriedades do Centro-Oeste brasileiro e regiões ao Norte. Mas, esta prática pode resultar em perda de produtividade do milho, mesmo quando a quantidade utilizada na soja contempla a extração das duas culturas e os acréscimos para compensar a imobilização do nutriente no solo (Duarte et al., 2019). Assim, com exceção dos solos de alta fertilidade, o fósforo deve ser aplicado nas duas culturas em sucessão.

O nitrogênio, por sua vez, pela sua alta mobilidade no solo, deveria ser parcelado na semeadura e em cobertura para atender a grande demanda inicial, que perdura até depois do florescimento. A aplicação de todo N na semeadura pode acarretar perdas na produtividade devido à deficiência nutricional nos anos mais chuvosos (Figura 4), decorrente de perdas por lixiviação. Mas, em lavouras de baixo potencial produtivo, em solos argilosos, a demanda pelo nutriente é menor. Via de regra, essas lavouras são implantadas mais tarde, quando as chuvas são menos frequentes e abundantes, condição que reduz as perdas por lixiviação e, conseqüentemente, a necessidade de parcelamento. Por isso, em lavouras com potencial produtivo igual ou inferior a 6 t ha^{-1} , em solos argilosos, recomenda-se doses relativamente baixas de nitrogênio (até 60 kg ha^{-1}) exclusivamente no momento da semeadura (Cantarella e Duarte, 1995; Duarte et al., 2022).

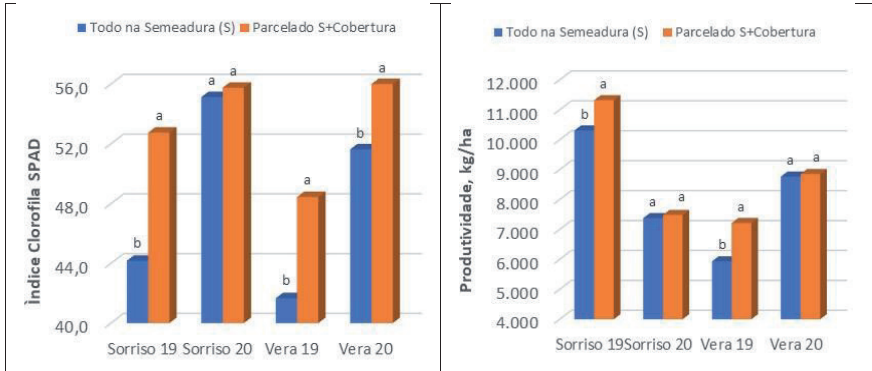


Figura 2. Índice de clorofila SPAD (estádio V6) e produtividade do milho safrinha com aplicação de 120 kg ha^{-1} de N exclusivamente na semente e parcelado na semente + cobertura no estágio V3/V4 ($40 + 80 \text{ kg ha}^{-1}$), em dois locais (Sorriso - 54% argila e Vera - 25% de argila), no Mato Grosso, em 2019 e 2020. Fonte: Dados da pesquisa IAC e UFMT.

O atraso do fornecimento do nitrogênio acarreta prejuízos na produtividade (Kappes et al., 2017; Duarte et al., 2019; Simão et al., 2020). Nas lavouras que adotam a aplicação exclusiva de fertilizantes a lanço, é comum a aplicação do nitrogênio somente em cobertura, fazendo a primeira ou única operação depois da emergência das plantas. Em média, duas semanas após a semente, o milho já se encontra no estágio de cinco folhas, momento crítico para a definição do potencial produtivo, e prejuízos na produtividade têm sido relatados com atrasos a partir do estágio V1, principalmente após V3. O ideal é realizar A ADUBAÇÃO DE SEMEADURA A LANÇO, imediatamente antes ou depois da semente (Duarte et al., 2019). Para garantir

que não ocorra atraso na aplicação do fertilizante, é melhor que a adubação seja realizada entre o momento da colheita da soja e a semeadura do milho. Porém, não se deve adubar área maior do que a capacidade de semear em um dia de serviço, mesmo quando a frente de colheita adianta muito em relação à da semeadura do milho. Isso evita, caso ocorra interrupção da semeadura por chuvas durante dias contínuos, a lixiviação de grande parte do N e sua deficiência na camada superficial nas áreas já adubadas e ainda não semeadas. Quando se deixa a adubação para depois da semeadura, podem ocorrer outras demandas na propriedade e/ou dificuldades operacionais que postergam o momento de aplicação do N.

São comuns os questionamentos sobre a necessidade do parcelamento do N em duas coberturas, além da aplicação na semeadura. De maneira geral, essa prática pode ser vantajosa, em relação a uma cobertura, em lavouras de potencial produtivo elevado (igual ou superior a 10 t ha^{-1}), semeadura no cedo (mais chuvas) e solos de textura intermediária ou arenosos.

O enxofre deve ser aplicado o mais cedo possível na cultura do milho safrinha devido às características da sua localização no perfil do solo. Os solos geralmente são ricos em profundidade em enxofre, mas podem apresentar teores médios ou baixos na camada superficial. O momento crítico de risco de deficiência de S no milho safrinha é quando as plantas estão nos estádios iniciais e as raízes superficiais. Depois, aprofundam no perfil e atingem a parte mais rica em enxofre. O ideal é aplicar o enxofre no momento da semeadura e, se não for possível,

antecipar a adubação de cobertura. Em caso de duas coberturas, sempre aplicá-lo na primeira operação.

O potássio é um dos nutrientes mais flexíveis quanto a cultura a ser adubada no sistema de produção, desde que seus teores sejam médios tendendo a alto ou altos. Em solos argilosos, planos e uniformes, pode-se optar por aplicações exclusivas de K na soja e sua omissão no milho safrinha. Porém, nos solos de textura intermediária ou arenosos, pelas maiores perdas por lixiviação, é importante adubar tanto o milho safrinha quanto a soja (Duarte et al., 2021).

Não se recomendam doses elevadas de K no sulco de semeadura para evitar o risco de salinidade. Quando a soma de N e K_2O no sulco de semeadura atingir 80 kg ha^{-1} , deve-se fazer a análise crítica de outros parâmetros (presença de S na fórmula, espaçamento entre linhas, textura do solo, frequência de período seco imediatamente após a semeadura, mecanismo de distribuição da máquina, entre outros) antes de aumentar suas doses. Em determinados ambientes, pode ser necessário fazer o parcelamento da dose recomendada de K no sulco de semeadura + cobertura. A aplicação em cobertura deve ser feita o mais cedo possível porque o K é o nutriente absorvido em maior proporção nos estádios iniciais, em relação ao total acumulado pelas plantas. Isso é válido também para as aplicações exclusivamente a lanço, em que o K deve ser incluído na semeadura (adubação de semeadura a lanço) ou na primeira cobertura.

Equipamentos e fertilizantes

O manejo da adubação depende muito da qualidade dos equipamentos utilizados na sua distribuição e do capricho do agricultor nas operações. As máquinas agrícolas modernizaram muito, com destaque para novos mecanismos dosadores e o uso da automação: piloto automático, taxa variável de distribuição dos nutrientes, entre outros. Ao mesmo tempo, requerem maior conhecimento no manuseio e na manutenção preventiva dos equipamentos. Nem sempre o agricultor e/ou as equipes operacionais das propriedades estão capacitadas para lidar com essa realidade. Por isso, a qualidade da distribuição dos fertilizantes tem muito a melhorar, tanto no sulco de semeadura quanto a lança (semeadura e/ou cobertura).

Outro fator que impacta é a própria qualidade dos fertilizantes. Predomina no mercado o uso de nutrientes isolados e fórmulas NPK feitas com matérias-primas comercializadas como commodities, cotadas basicamente pelo preço, sem priorizar o quesito qualidade física. Podem ocorrer problemas de desuniformidade dos grânulos, presença de pó e/ou empedramento. Acrescenta-se que fórmulas NPK e assemelhados são, geralmente, misturas de matérias-primas com diferentes formatos, densidade e escoabilidade, fazendo que a dose de cada nutriente varie ao acaso na área.

Um dos problemas observados frequentemente na distribuição a lança dos fertilizantes contendo N ou NK é a presença de manchas em faixas alternadas na lavoura em tons verde e amarelo. Utiliza-se o mesmo rastro do pulverizador para

passar o distribuidor de fertilizantes e, geralmente, a largura é excessiva para a maioria dos fertilizantes. A faixa de deposição é diferente entre matérias primas, portanto, em misturas de grânulos cada nutriente é distribuído mais longe ou mais perto em relação ao centro do equipamento.

O lançamento de novos fertilizantes com melhor qualidade física e eficiência de aproveitamento dos nutrientes pela planta está contribuindo para mudar este cenário. Pode-se citar, entre outros, a inclusão em único grânulo de dois ou mais nutrientes usualmente fornecidos em diferentes matérias-primas e o recobrimento dos grânulos com substâncias que proporcionam a liberação mais lenta dos nutrientes, em sincronia com a demanda e com maior eficiência de absorção pelas plantas.

Novas tecnologias associam fertilizantes minerais com substâncias orgânicas e/ou microrganismos. Entre os objetivos estão a melhoria da qualidade do solo como um todo, restaurando a parte biológica, e o melhor aproveitamento dos nutrientes fornecidos pelos fertilizantes e/ou próprio solo.

A aplicação de inoculantes, principalmente no sulco de semeadura, é uma das práticas que se tornaram comuns nas duas últimas décadas. Destacam-se os inoculantes promotores do crescimento e disponibilizadores de N para as plantas, que contém *Azospirillum brasiliense*, e os solubilizadores de fosfato do solo (de óxidos de minerais e orgânico), com cepas de bactérias *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* ou *Pseudomonas fluorescens*. Embora possam melhorar a nutrição das plantas e

aumentar a produtividade, a indicação de redução de doses dos fertilizantes como argumento de vendas é controverso, visto que são produtos biológicos cuja eficiência depende de condições ambientais, a maioria incontrolláveis pelo homem, e podem ocorrer interações com genótipos, ou seja, diferentes respostas dos híbridos de milho à inoculação. Preocupa particularmente as recomendações para reduzir as doses de nitrogênio porque não existe garantia de resposta da produtividade à inoculação com *Azospirillum* em todos os casos e este nutriente é o de maior resposta à adubação pelo milho, cuja deficiência pode levar a grandes prejuízos na produtividade.

Os fertilizantes nitrogenados foliares e os inoculantes foliares podem ser recomendados na cultura do milho em condições específicas. Os primeiros, advindos de experiências positivas na cultura do milho verão, em condições de alta produtividade, têm sido utilizados de maneira indiscriminada no milho safrinha, particularmente em mistura com micronutrientes. Embora ocorra, frequentemente, a melhoria da tonalidade verde das folhas, a quantidade possível de ser aplicada via foliar (menos de 5 kg ha⁻¹ de N) é insuficiente para corrigir deficiências nutricionais e aumentar a produtividade, diante da enorme demanda da planta (são acumulados na planta mais de 20 kg ha⁻¹ de N para cada tonelada de grãos). O inoculante *Azospirillum brasiliense* também pode ser aplicado via foliar e, recentemente, foi lançado um inoculante biológico que contém a cepa de *Metylobacterium symbioticum* SB23 que coloniza as folhas e permite a fixação biológica do N do ar atmosférico,

recomendado para cultura bem adubada, sadia e sem estresses. Ressalta-se que, para ambos inoculantes, existe restrição quanto ao pH e a compatibilidade com outros produtos na calda, dificultando as misturas de tanque.

Essas tecnologias já proporcionam ou tem potencial de melhorar o manejo das adubações no milho safrinha. Porém, são necessárias mais pesquisas regionais, em rede de ensaios, para verificar seus benefícios agrônômicos e econômicos nos diferentes ambientes, justificando os investimentos extras na aquisição e aplicação dos novos produtos.

Desafios e perspectivas

O manejo da adubação do milho safrinha evoluiu consideravelmente desde o início da tecnificação desta modalidade de cultivo na década de 1990. O aprendizado que a adubação de arranque é a chave para alcançar as melhores produtividades ainda é contraposto com realidades de ausência e/ou baixas de doses de N e outros nutrientes na semeadura.

A sucessão soja / milho safrinha proporciona certa economia em investimentos em nitrogênio no milho e o balanço dos nutrientes P, K e S no ano agrícola permite fazer a adubação do sistema produtivo. Porém, o balanço tem sido usado amplamente sem considerar a fertilidade do solo de cada talhão e os requerimentos nutricionais específicos de cada cultura. Acrescenta-se que o uso rotineiro de fórmulas e doses padrões de fertilizantes para todas as situações podem culminar em desequilíbrios nutricionais nas culturas em sucessão.

O amplo emprego da adubação a lanço nos cerrados

do Centro-Oeste e regiões geográficas acima foi uma solução operacional que contribuiu para a antecipação da época de semeadura e aumento do potencial produtivo do milho safrinha. Mas seu uso amplo, não somente em solos planos, de fertilidade corrigida e bem cobertos com palha, pode acarretar o escorrimento superficial dos nutrientes (aumento da variabilidade) e, em anos mais secos, o agravamento dos efeitos dos estresses hídricos, particularmente quando não se faz a correção da acidez e dos nutrientes no perfil.

Independentemente do tipo de distribuição do fertilizante, o aumento da cobertura com palha do solo é um dos principais desafios e, neste particular, o consórcio de milho safrinha e braquiária é a tecnologia mais factível, visto que rotação de culturas é quase uma utopia nas áreas de sucessão soja/milho safrinha. Ressalta-se a necessidade, na maioria das áreas produtoras de grãos, de retomar medidas de controle da erosão devido à ausência de terraços e a baixa cobertura de palha do solo.

A correção inicial da acidez do solo, até pelo menos 20 cm de profundidade, também é um dos fundamentos do sistema de plantio direto. Nos anos seguintes, é feita a aplicação de calcário superficial para manter o pH do solo e os teores de Ca e Mg dentro da faixa adequada. Essa correção nem sempre é feita e os problemas de compactação do solo são frequentes, agravando a deficiência de água para as plantas.

Os consideráveis avanços em máquinas e equipamentos utilizados na distribuição de fertilizantes nem sempre

está acompanhado pelo seu uso e manutenção corretos, seja semeadoras-adubadoras com aplicação no sulco e/ou distribuidores a lanço (automotrizes ou tracionados por trator). Isso, juntamente com problemas na qualidade física de parte dos fertilizantes, está resultando na distribuição desuniforme de cada nutriente no sulco de semeadura e/ou na superfície do solo.

Os benefícios concretos da adoção da agricultura de precisão, com aplicação de nutrientes em taxa variável, aumentarão se forem adotadas medidas para reduzir a variabilidade espacial não mapeável, como o controle da erosão e a melhor uniformidade na distribuição dos fertilizantes.

Deverá aumentar a oferta e a viabilidade econômica de novos fertilizantes com melhor qualidade física, particularmente com diferentes combinações de nutrientes no mesmo grânulo, e de fontes mais eficientes de nutrição para as plantas. Acrescenta-se a maior disponibilidade de inoculantes para adição de microrganismos benéficos às plantas de milho, com previsões de muitos investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produtos de fácil manuseio e aplicação e que permitam recomendações mais seguras para a substituição parcial dos fertilizantes minerais.

Por fim, acredita-se que continuarão os aperfeiçoamentos dos sistemas de produção como um todo, resultando no aumento da produtividade do milho safrinha. Produtividades de grãos iguais ou superiores a 10 t ha⁻¹, registradas nos melhores talhões, deverão ser as médias das melhores propriedades nas regiões

mais propícias ao seu cultivo. Isso demandará a melhoria do manejo do solo como um todo, incluindo a recomendação dos nutrientes baseada na análise do solo, melhor qualidade na distribuição dos fertilizantes na área e aumento das doses dos nutrientes, particularmente do nitrogênio.

Referências bibliográficas

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Adubação do milho “safrinha”. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 3., Assis. Anais... Campinas: Instituto Agrônômico, 1995. p.21-27.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas das safras. Grãos. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>>. Acesso em 17/11/2023.

DUARTE, A.P. Adubação do milho-safrinha em sucessão à soja. In: ABREU, D.C.; DIAS, M.P.L.; BOSCOLI, D.Z.; SILVA, W.M.; ALBERTO, F.P.; MARTINS, A.R.R.; PINHEIRO, D.T. (Eds.). VITRINE TECNOLÓGICA AGRÍCOLA, 3. Atualidades na cultura do milho em sistema soja e milho-safrinha. Cuiabá: Uniselva, 2022. p.15-33.

DUARTE, A.P.; ABREU, M.F.; FRANCISCO, E.A.B.; GITTI, D.C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. Informações Agrônômicas, n.163, p.12-16, 2018.

DUARTE, A.P.; ABREU, M.F.; FRANCISCO, E.A.B.; GITTI, D.C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Reference values of grain nutrient content and removal for corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2019, 43:e0180102. 12p.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Milho para grãos e silagem. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B van. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. p.201-205.

DUARTE, A.P.; FREDDI, O.; CATAPATTI, T.R.; RIGOTTI, A.R.; COSER, T. Doses e épocas de aplicação do potássio e parcelamento do fósforo na sucessão soja e milho safrinha no Mato Grosso In: FREITAS et al. (Ed.), *SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA. Três décadas de inovações: avanços e desafios*, 16, 2021, Assis. Anais [...] Campinas: Instituto Agronômico, 2021. p. 51-52. (On-line)

DUARTE, A.P.; KAPPES, C. Doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha: fontes e modo de aplicação de fósforo em sistema de sucessão com soja no estado do Mato Grosso. In: *SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA*, 14., 2017. Cuiabá. Anais... Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p.74-79.

DUARTE, A.P.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; CANTARELLA, H. Adubação do milho safrinha no Estado do Mato Grosso. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. 30p. (Boletim de Pesquisa, 20).

DUARTE, A.P.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; SEMLER, T.D.; ONO, F.B. Adubação do milho safrinha em sucessão a soja. In: FUNDAÇÃO MT (Org.). Boletim de pesquisa 2022/2023. 20.ed. Rondonópolis: Fundação MT, 2023. p.76-83.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de produção de soja: região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 256p. (Sistemas de Produção, 16).

KAPPES, C.; DUARTE, A.P.; SEMLER, T.D.; ONO, F.B. Época de aplicação do nitrogênio em milho safrinha no Mato Grosso e em São Paulo. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 14., 2017. Cuiabá. Anais... Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p.86-91.

ONO, F.B.; KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; ZEVIANI, W.M.; SEMLER, T.D. Aplicação a lanço de fósforo e os efeitos na produtividade de milho safrinha ao longo dos anos. In: XXXII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018. Lavras. Resumos... Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018. p.41-41.

SIMÃO, E.P.; RESENDE, A.V.; GONTIJO NETO, M.M.; SILVA, A.F.; GODINHO, V.P.C.; GALVÃO, J.C.C.; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A.C.; GIEHL, J. Nitrogen fertilization in off-season corn crop in different Brazilian Cerrado environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, e01551, 2020. <https://www.scielo.br/j/pab/a/rVHybnL8zS6SSwNTQcyvd7L/?lang=en>

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2016. 10p. (Circular Técnica, 33).

Capítulo 3

ADUBAÇÃO DE MILHO SAFRINHA EM SOLOS ARENOSOS

Douglas de Castilho Gitti¹ e André Luis Faleiros Lourenção²

Palavras-chave: ambientes restritivos, química de solo, sistemas de produção.

Resumo: A sucessão soja/milho safrinha foi cultivada inicialmente em solos argilosos, mas com a expansão da atividade e abertura de novas áreas, esses cultivos têm sido realizados em solos com teores de argila inferiores a 20% e baixa fertilidade natural, incluindo a acidez por alumínio. Os corretivos com menor relação cálcio/magnésio apresentam resultados positivos na produtividade do milho safrinha. Em solos com fertilidade adequada, a aplicação de ureia e formulados não diferiram quando aplicados no sulco de semeadura utilizando a “botinha” ou facão como mecanismo de aplicação do fertilizante na semeadora. Quanto à aplicação de nitrogênio em cobertura (V3) do milho safrinha, não houve diferença entre as fontes avaliadas: ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio. Para o fornecimento de fósforo e potássio sugere-se utilizar os critérios de exportação de nutrientes para determinação das doses para manutenção dos teores adequados no solo. Quanto ao enxofre,

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Sistemas de Produção, pesquisador da Fundação MS, Estrada da Usina Velha, km 02, Zona Rural, Maracaju, MS. CEP: 79.150-000, Caixa Postal 137. E-mail: douglas@fundacaoms.org.br

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Sistemas de Produção, pesquisador da Fundação MS, Estrada da Usina Velha, km 02, Zona Rural, Maracaju, MS. CEP: 79.150-000, Caixa Postal 137. E-mail: andre@fundacaoms.org.br

o gesso agrícola proporciona melhores resultados produtivos em relação ao enxofre elementar em solos com baixos teores desse nutriente. Para zinco, manganês e cobre, a aplicação foliar desses nutrientes nas doses de 100, 100 e 10 g ha⁻¹ em V6, respectivamente, têm proporcionado maiores produtividades ao milho safrinha em solos arenosos. Para boro, a aplicação via solo, com o objetivo de elevar os teores, tem proporcionado maiores produtividades ao milho safrinha. O sucesso da correção da acidez do solo em profundidade carece da determinação correta da dose de calcário com utilização de informações atuais quanto à eficiência dos corretivos de acidez, como também da utilização do gesso agrícola para o fornecimento de enxofre e cálcio para o desenvolvimento adequado do milho.

Os fatores determinantes do potencial de produção do cultivo do milho safrinha, em solos arenosos, podem ser relacionados com a época de semeadura, a escolha do híbrido e o ambiente de produção. Neste capítulo, a abordagem será sobre o ambiente de produção como proposta de melhorias dos componentes químicos do solo em ambientes de solo com textura arenosa (argila menor que 20%) em Latossolos Vermelho alumínio (m% maior que 50% e/ou V% menor que 50), nos municípios de Anaurilândia, Ivinhema e Naviraí, MS, com atributos químicos analisados antes das intervenções (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo a 1 m de profundidade nas unidades de pesquisa com solo de textura arenosa (20% de argila) em Anaurilândia, Ivinhema e Naviraí, MS. Fundação MS, 2018.

Camada (cm)	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K -----% CTC-----	Ca	Mg	m %	CTC mmol _c dm ⁻³	V %	S mg dm ⁻³
Anaurilândia										
0-10	4,8	28,2	8,8	1,0	35	7	3	76	43	5,7
10-20	4,5	18,4	10,3	0,9	25	5	17	67	31	4,1
20-40	4,2	14,6	1,1	0,7	12	3	44	63	15	7,0
40-60	4,2	9,9	0,4	0,5	9	2	57	53	11	9,5
60-80	4,2	9,4	0,4	0,6	12	2	54	44	14	17,1
80-100	4,4	6,6	0,4	0,4	18	2	35	42	20	24,5
Ivinhema										
0-10	5,3	26,2	29,4	2,3	48	9	0	68	60	4,1
10-20	4,7	16,9	35,0	2,2	31	6	8	64	40	5,5
20-40	4,4	9,1	1,8	1,2	18	4	34	53	23	8,6
40-60	4,4	6,4	0,5	1,1	17	4	37	47	23	15,9
60-80	4,3	6,9	0,4	0,6	18	4	33	46	23	12,0
80-100	4,5	5,6	0,4	0,6	19	4	33	40	23	18,7
Naviraí										
0-10	5,6	16,1	23,3	1,1	57	7	0	55	66	6,8
10-20	4,4	8,6	11,0	1,4	23	3	29	39	27	5,2
20-40	4,4	12,6	28,2	1,1	23	4	20	48	28	4,4
40-60	4,5	7,9	2,4	1,7	24	3	22	38	29	7,9
60-80	4,7	6,1	1,2	1,5	25	3	20	39	29	9,8
80-100	4,7	5,4	0,8	2,6	27	3	20	35	33	11,8

M.O.: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; m: saturação por alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; S: enxofre.

O suprimento adequado de água durante todo o ciclo da cultura é um grande desafio em solos arenosos, em cultivos de sequeiro. Fatores como a distribuição irregular das precipitações e as altas temperaturas agravam esse ambiente, em solos com textura arenosa e de baixa capacidade de troca catiônica.

A redução da acidez do solo está diretamente relacionada com a redução da atividade de alumínio trocável no solo, elemento que pode interferir no crescimento das raízes em profundidade e na adequada nutrição das plantas. A necessidade de incorporação de corretivos da acidez do solo e a manutenção da faixa adequada de pH em CaCl_2 (5,4 a 6,4) proporciona o ambiente ideal de solo para maior crescimento do sistema radicular e maior eficiência na absorção dos nutrientes provenientes da adubação mineral, como observado no histórico de produtividade do milho safrinha nos três locais, que, antes das melhorias químicas do solo, eram de 60, 78 e 51 sc ha^{-1} e, após a melhoria, pela incorporação de corretivos da acidez, a produtividade de grãos aumentou para 141,0; 132,3 e 117,5 sc ha^{-1} , ou seja, 2,4; 1,7 e 2,3 vezes superior para Ivinhema, Naviraí e Anaurilândia, MS, respectivamente (Tabela 2), se aproximando de produtividades de milho obtidas em ambientes de solos argilosos, como o de Maracaju, MS (144 sc ha^{-1} , média de 5 anos).

Tabela 2. Produtividade média (sc ha⁻¹) obtida pelos três primeiros colocados nas tabelas de híbridos simples de milho precoce no período de 2018 a 2023, após a incorporação dos corretivos ao solo, em Maracaju, Ivinhema, Naviraí e Anaurilândia, MS. Fundação MS, 2023.

Ano/local	Maracaju	Ivinhema	Naviraí	Anaurilândia
	(50% arg)	(25% arg)	(20% arg)	(25% arg)
	Produtividade de milho (sc ha ⁻¹)			
2018	145,0	60,0	-	seca
2019	-	129,0	78,0	51,0
2020	141,6	-	144,0	-
2021	120,0	Seca/geada	115,0	Seca/geada
2022	128,6	149,0	-	128,0
2023	188,6	145,0	138,0	107,0
Médias	-	141,0	132,3	117,5

Fonte: Lourenção, 2024.

O sucesso da melhoria do perfil químico do solo está atrelado à determinação correta da dose do calcário e à incorporação do corretivo na profundidade do solo que pode variar entre 30 e 40 cm para o sistema de produção com soja e milho safrinha. A elevação dos teores de cálcio a 50% da CTC do solo pode ser a metodologia utilizada para determinação da dose do calcário. Utilizar a eficiência de 50% de disponibilidade de cálcio do calcário para o complexo de troca do solo (Gitti et al., 2019), ou seja, a dose precisa ser o dobro da calculada para se atingir o teor de cálcio desejado.

Após estabelecida as melhorias químicas, ao longo do

perfil do solo, pela dose correta do calcário e sua incorporação em profundidade, a garantia de não revolver mais o solo e a manutenção permanente de um dos três princípios do sistema plantio direto (não revolvimento do solo) depende do monitoramento da acidez do solo em intervalo de dois anos e reaplicação de corretivos para a manutenção dos benefícios implementados pelo preparo do solo.

A aplicação de corretivos da acidez do solo com elevado PRNT (Cal Fertil VF PRNT de 160%) e com relação cálcio/magnésio próxima a 2 (CaO - 48% e MgO - 32%) tem proporcionado, após 12 meses da aplicação, redução da acidez do solo e do alumínio trocável, como também, maiores valores de cálcio e magnésio no solo em relação ao calcário dolomítico de PRNT inferior (85%) obtido em Naviraí, MS (Tabela 3). Em ambos os corretivos se considerou a determinação da dose pela elevação da saturação por bases a 70%.

Tabela 3. Atributos químicos do solo em coletas realizadas 12 meses após a aplicação dos corretivos. Fundação MS, Naviraí, MS, 2023.

Tratamentos	pH	MO	P Meh.	V	K	Ca	Mg	Al
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	(%)	-----mol _c dm ⁻³ -----			
Testemunha	3,87 b	11,1 b	25,55	24,2 b	0,80	12,2 a	4,52 b	4,27 a
Calcário dolomítico 2500 kg ha ⁻¹	4,18 b	9,96 b	19,10	28,2 a	0,64	11,9a	4,84 b	3,62 a
Cal Fertil 1375 kg ha ⁻¹	4,48 a	11,23b	20,34	33,33a	0,71	14,1 a	7,27 a	2,60 b
Cal Fertil 1000 kg ha ⁻¹	4,42 a	11,8 a	14,85	33,66a	0,73	11,97a	7,34 a	1,72 b
Cal Fertil 750 kg ha ⁻¹	4,39 a	12,2 a	22,98	30,54a	0,77	11,9 a	6,21 a	2,25 b
Cal Fertil 500 kg ha ⁻¹	4,07 b	10,9 b	22,54	21,67	0,75	7,32 b	4,85 b	3,55 a
Profundidade								
0-10 cm	4,60 a	14,1 a	28,01 a	39,1 a	0,69 b	16,3 a	9,02 a	1,19 b
10-20 cm	4,00 b	10,87b	21,36 b	21,4 b	0,60 b	8,82 b	4,32 b	4,20 a
20-40 cm	4,10 b	8,68 c	13,30 c	25,2 b	0,91 a	9,64 b	4,17 b	3,62 a
Teste F								
Tratamento -T	5,14 **	3,29 *	2,03 ^{ns}	2,92 *	0,84 ^{ns}	2,44 *	3,35 *	4,23 **
Profundidade - P	19,32 **	80,63 **	16,02 **	21,36 **	12,87 **	16,17 **	31,46 **	23,17 **
T*P	0,87 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,69 ^{ns}
DMS (5%) – T	-	-	-	-	-	-	-	-
DMS (5%) - P	0,25	1,03	6,28	6,87	0,15	3,47	1,68	54,0
CV (%)	8,53	13,26	43,12	34,49	29,31	43,03	41,29	54,12
Médias	4,23	11,22	20,89	28,61	0,73	11,58	5,84	3,00

** e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e pelo Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa.

As influências positivas são verificadas na redução do alumínio trocável no solo (Figura 1) e na disponibilidade de cálcio e magnésio no solo em Anaurilândia, MS (Figura 2).

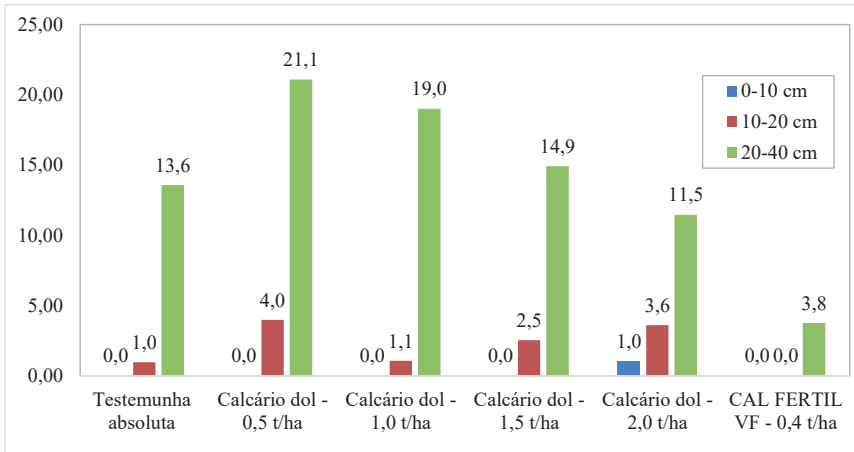


Figura 1. Saturação de alumínio trocável (Al) no solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, 12 meses após a aplicação de doses de calcário dolomítico e de óxido de cálcio e magnésio (Cal Fertil 48%CaO e 32%MgO) em Anaurilândia, MS. Fundação MS, 2023.

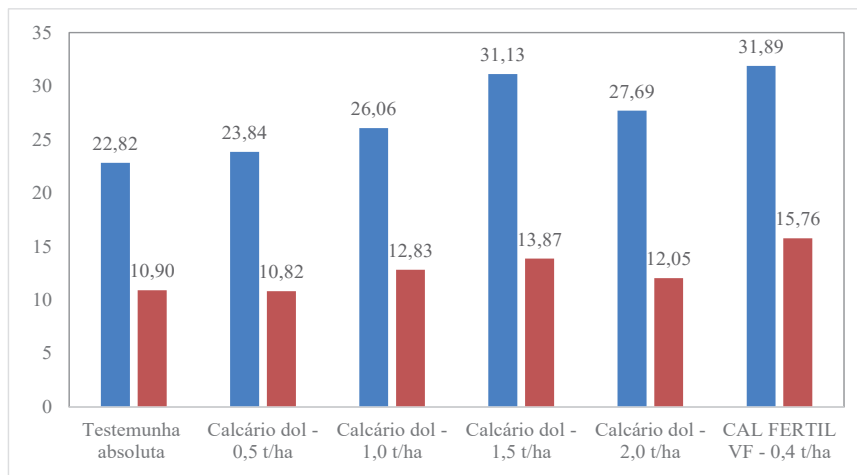


Figura 2. Saturação de cálcio (em azul) e magnésio (em vermelho) no solo, na profundidade de 0-40 cm, após 12 meses da aplicação de doses de calcário dolomítico e de óxido de cálcio e magnésio (Cal Fertil 48%CaO e 32%MgO) em Anaurilândia, MS. Fundação MS, 2023.

Após 12 meses da aplicação do corretivo Cal Fertil VF foram verificadas maiores produtividades de grãos do milho, no ambiente de Anaurilândia (Figura 3).

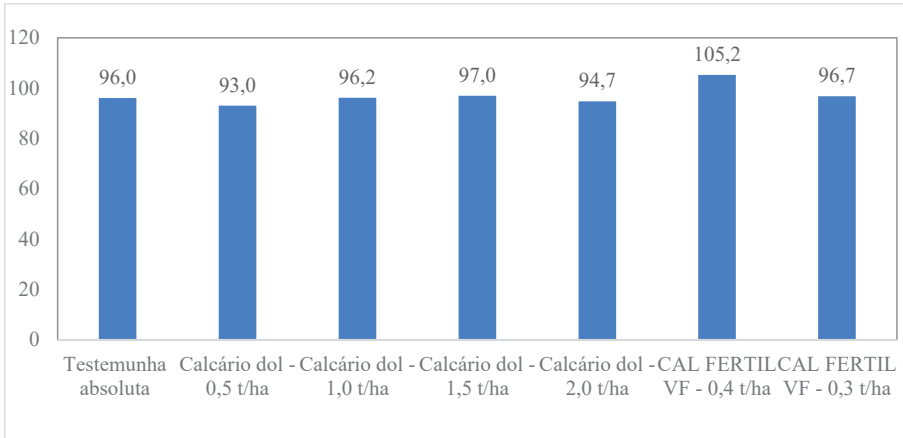


Figura 3. Produtividade de grãos de milho safrinha 12 meses após a aplicação de doses de calcário dolomítico e de óxido de cálcio e magnésio (Cal Fertil 48%CaO e 32%MgO) em Anaurilândia, MS. Fundação MS, 2023.

Em solo argiloso (Maracaju, MS), observa-se que, para se obter produtividade de grãos do milho safrinha semelhante ao obtido com o produto Cal Fertil, seria necessário 1,5 a 2 vezes (2,1 a 2,8 t ha⁻¹) mais calcário do que o aplicado, considerando a dose de 1,4 t ha⁻¹ para elevação da saturação por bases a 70% (Figura 4).

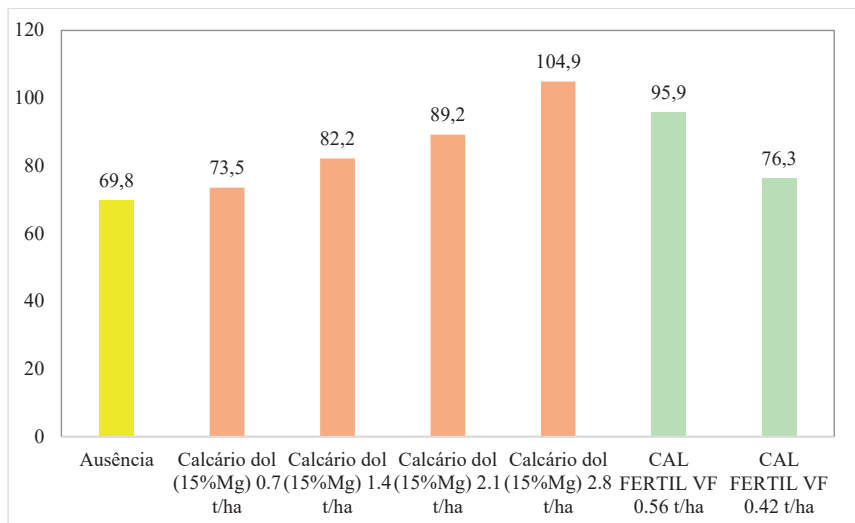


Figura 4. Produtividade de grãos do milho safrinha em Maracaju, MS, 2023, após 12 meses da aplicação de doses de calcário dolomítico (15%Mg) e de óxido de cálcio e magnésio (Cal Fertil VF 48%CaO e 32%MgO). Fundação MS, 2023.

A cultura do milho safrinha é exigente em fertilidade do solo. Desta forma, é necessária a correção antecipada dos nutrientes no solo buscando a manutenção dos teores dentro da classificação adequada no solo para manutenção de tetos elevados de produtividade de grãos.

A elevação dos teores de nutrientes no solo aos níveis adequados é um fator importante para o maior desenvolvimento do sistema radicular das culturas, e conseqüentemente, para o adequado suprimento da demanda nutricional durante o ciclo.

Os níveis utilizados para interpretação dos componentes químicos do solo são divididos em função do valor da capacidade

de troca catiônica (CTC), sendo abaixo e acima de $80 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabelas 4 e 5). Em Mato Grosso do Sul, alguns exemplos de municípios com Unidades de Pesquisa da Fundação MS com solos com baixas CTC's são obtidos em Naviraí, Ivinhema e Anaurilândia (Tabela 1), com classe de textura variando de arenoso (abaixo de 20% argila) a médio (entre 20 - 40% argila); e para solos com elevadas CTC's alguns exemplos são obtidos em Maracaju, Dourados e Sidrolândia, com solos argilosos (acima de 40% argila).

Tabela 4. Níveis para interpretação dos teores de macronutrientes e micronutrientes para solos com capacidade de troca catiônica (CTC) inferior a $80 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Nutrientes	Baixo	Médio	Alto/ Adequado
P (mg dm^{-3}) (Mehlich 1) ¹	5 a 10	10 a 15	15 a 20
S (mg dm^{-3}) (0-20) ²	< 2	2 a 3	> 3
S (mg dm^{-3}) (20-40) ²	< 6	6 a 9	> 9
Ca (%) CTC ³	< 25	25 a 35	> 35
Mg (%) CTC ³	< 13	13 a 20	> 20
K (%) CTC ³	< 3	3 a 5	> 5
V (%) ⁴	< 41	41 a 60	> 60
B (mg dm^{-3}) ⁵	< 0,30	0,30 a 0,50	> 0,50
Zn (mg dm^{-3}) ⁶	< 0,60	0,60 a 1,30	> 1,30
Cu (mg dm^{-3}) ⁷	< 0,33	0,33 a 0,74	> 0,74
Mn (mg dm^{-3}) ⁸	< 5,0	5,0 a 10,0	> 10,0
Fe (mg dm^{-3}) ⁴	< 5,0	5,0 a 12,0	> 12,0

Fonte: ¹Sousa e Lobato (1996); ²Sfredo et al. (2003); ³Borkert et al. (2006); ³Sfredo et al. (2006); ⁴Raij et al. (1997); ⁵Galvão (2002); ⁶Sfredo et al. (2009); ⁷Sfredo et al. (2010); ⁸Sfredo et al. (2008). Metodologias de extração: P, K, Fe, Mn, Zn e Cu (Mehlich 1); B (água quente); S-SO₄ (Fosfato de cálcio); Ca e Mg (KCl).

Tabela 5. Níveis para interpretação dos teores de macronutrientes e micronutrientes para solos com capacidade de troca catiônica (CTC) igual ou superior a 80 mmol_c dm⁻³.

Nutrientes	Baixo	Médio	Alto/ Adequado
P (mg dm ⁻³) (Mehlich 1) ¹	3 a 5	5 a 8	8 a 12
S (mg dm ⁻³) (0-20) ²	< 5	5 a 10	> 10
S (mg dm ⁻³) (20-40) ²	< 20	20 a 35	> 35
Ca (%) CTC ³	< 35	35 a 50	> 50
Mg (%) CTC ³	< 13	13 a 20	> 20
K (%) CTC ³	< 3	3 a 5	> 5
V (%) ⁴	< 50	50 a 70	> 70
B (mg dm ⁻³) ⁵	< 0,30	0,30 a 0,50	> 0,50
Zn (mg dm ⁻³) ⁶	< 0,60	0,60 a 1,30	> 1,30
Cu (mg dm ⁻³) ⁷	< 0,33	0,33 a 0,74	> 0,74
Mn (mg dm ⁻³) ⁸	< 5,0	5,0 a 10,0	> 10,0
Fe (mg dm ⁻³) ⁴	< 5,0	5,0 a 12,0	> 12,0

Fonte: ¹Sousa e Lobato (1996); ²Sfredo et al. (2003); ³Borkert et al. (2006); ³Sfredo et al. (2006b); ⁴Raij et al. (1997); ⁵Galvão (2002); ⁶Sfredo et al. (2009); ⁷Sfredo et al. (2010); ⁸Sfredo et al. (2008). Metodologias de extração: P, K, Fe, Mn, Zn e Cu (Mehlich 1); B (água quente); S-SO₄ (Fosfato de cálcio); Ca e Mg (KCl).

Solos com níveis baixos e médios de nutrientes carecem de correções para elevação dos teores aos níveis altos. Inicialmente, deve ser aplicado o calcário para correção da acidez do solo e fornecimento de cálcio e magnésio. Após a correção da acidez do solo, deve-se proceder a elevação dos teores de fósforo e potássio, com a utilização dos fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônico - MAP) e potássicos (cloreto

de potássio - KCl). Na sequência, o aporte de gesso agrícola deve ser a fonte utilizada para a elevação dos teores de enxofre nas duas camadas de solo (0-20 cm e 20-40 cm).

Os insumos utilizados para correção dos componentes químicos precisam ser incorporados ao perfil do solo para maior eficiência no processo de correção, sendo necessária a incorporação do calcário na profundidade de 20 a 40 cm, os fertilizantes fosfatados e potássicos a 20 cm e o gesso agrícola a 10 cm.

Em solos com teores adequados de nutrientes, sugere-se que a determinação das doses de nutrientes a serem aplicadas no sistema de produção atenda a exportação de nutrientes via grãos. Para o fósforo e potássio deve-se atender a exportação desses nutrientes nas quantidades aproximadas de 10 e 9 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 20 e 6 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada de grãos produzida para as culturas da soja e do milho, respectivamente. Em solos com teores adequados de nutrientes, deve-se considerar o histórico de produtividade das culturas, uma vez que pode ocorrer acúmulo de nutrientes devido à expectativa de produtividade não corresponder ao esperado.

A adubação do sistema de produção, em solos arenosos, consiste em uma prática possível em ambientes de solo com fertilidade construída para que a demanda de nutrientes das culturas envolvidas no ano agrícola seja atendida durante seu período de cultivo. Os resultados obtidos em Anaurilândia e Ivinhema, ambos com 25% de argila no solo, apresentaram produtividades de grãos semelhantes entre a aplicação dos

fertilizantes ureia (45% N) e formulado (15-15-15), nas doses de 110 e 250 kg ha⁻¹ no sulco, respectivamente (Tabela 6). Ambos os tratamentos apresentam doses iguais de fósforo e potássio para a soja e o milho, porém, com todo o aporte de fósforo e potássio aplicado em pré-semeadura da soja e ureia no milho; e 70% de fósforo e potássio na soja e 30% no milho via fertilizante formulado (15-15-15).

Considerando a adubação nitrogenada para milho safrinha, onde a soja é a cultura antecessora, calcula-se que a fixação biológica de N pela cultura da soja deixe um residual no solo de 35 a 45 kg ha⁻¹ de N (Oliveira et al., 2008). A mineralização libera, em média, 20 kg ha⁻¹ de N para cada 1% de matéria orgânica do solo (Coelho et al., 2008). Em um solo com 3% de matéria orgânica (30 g kg⁻¹), seriam liberados 60 kg ha⁻¹ de N. Assim, em média, solos agrícolas bem corrigidos podem fornecer cerca de 100 kg ha⁻¹ de N para a cultura do milho safrinha em sucessão à soja. Levando-se em consideração as produtividades médias para a safrinha, as quais têm ficado entre 80 e 100 sacos ha⁻¹ em Mato Grosso do Sul, o milho extrairia entre 120 e 150 kg ha⁻¹ de N. Nessas condições, as recomendações seriam de 20 a 50 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 6. População final de plantas, massa de 100 grãos e produtividade em função de manejos de adubação no sulco de semeadura do milho safrinha e sorgo em três locais de MS. Fundação MS, 2023.

Tratamentos	População final de plantas	Massa de 100 grãos (gramas)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Anaurilândia			
1 Milho - Ureia (110 kg ha ⁻¹)	60.000 b	27,09 a	115,62 ab
2 Milho - 15-15-15 (250 kg ha ⁻¹)	60.000 b	30,11 a	128,72 a
3 Sorgo - Ureia (110 kg ha ⁻¹)	125.200 a	2,99 b	94,78 b
4 Sorgo -15-15-15 (250 kg ha ⁻¹)	123.600 a	3,11 b	98,54 b
Teste F	382,71**	230,65**	8,66**
DMS (5%)	7.983	4,09	22,46
CV (%)	4,61	13,77	10,93
Média (milho)	92.200	15,82	122,15
Ivinhema			
1 Milho - Ureia (110 kg ha ⁻¹)	60.400 b	32,83 a	114,10 a
2 Milho - 15-15-15 (250 kg ha ⁻¹)	59.200 b	32,87 a	117,82 a
3 Sorgo - Ureia (110 kg ha ⁻¹)	137.600 a	3,35 b	58,36 b
4 Sorgo -15-15-15 (250 kg ha ⁻¹)	133.600 a	3,37 b	60,38 b
Teste F	237,19**	703,69**	43,03**
DMS (5%)	11.944	2,69	20,94
CV (%)	6,51	7,92	12,72
Média (milho)	97.700	18,11	115,60
São Gabriel do Oeste			
1 Milho - Ureia (110 kg ha ⁻¹)	60.533	28,01 b	159,68 a
2 Milho - 15-15-15 (250 kg ha ⁻¹)	58.666	30,30 a	167,82 a
Teste F	1,18 ^{ns}	10,82*	1,18 ^{ns}
DMS (5%)	4.769	1,93	20,77
CV (%)	4,56	3,78	7,22
Média	59.600	29,15	163,75

** e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa.

A dose de nitrogênio a ser aplicada no sulco de semeadura do milho safrinha, utilizando como fonte nitrogenada a ureia, deve ficar na faixa de 40 a 50 kg ha⁻¹ (Figura 5).

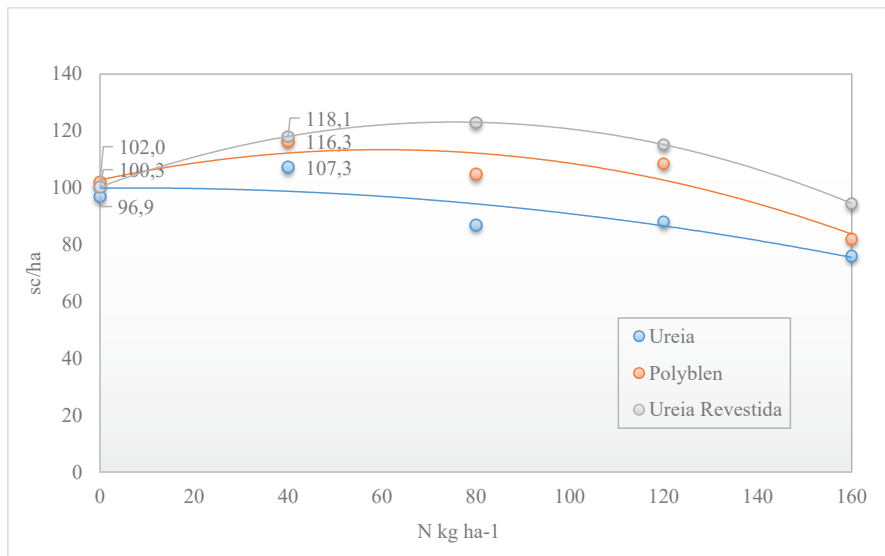


Figura 5. Produtividade do milho safrinha em função de doses de nitrogênio (N) no sulco de semeadura e fontes de N em Maracaju, MS. Fundação MS, 2023. Ureia: $y = 99,89 + 0,014x - 0,001x^2$ ($R^2 = 0,75$). Polyblen: $y = 102,77 + 0,3552x - 0,003x^2$ ($R^2 = 0,83$). Ureia revestida: $y = 100,34 + 0,6037x - 0,004x^2$ ($R^2 = 0,99$).

Tendo em vista a melhor viabilidade econômica e a ausência de redução no estande de plantas, para produtividades acima de 100 sacos por hectare, a complementação de nitrogênio deverá ser realizada em cobertura, tendo em vista o limite de dose (50 kg ha⁻¹ de N) desse fertilizante nitrogenado no sulco de semeadura. Utilizando a ureia como fonte nitrogenada,

observa-se resposta na produtividade do milho safrinha em solos arenosos até a dose de 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura, como observado em Anaurilândia e Ivinhema, MS (Figura 6).

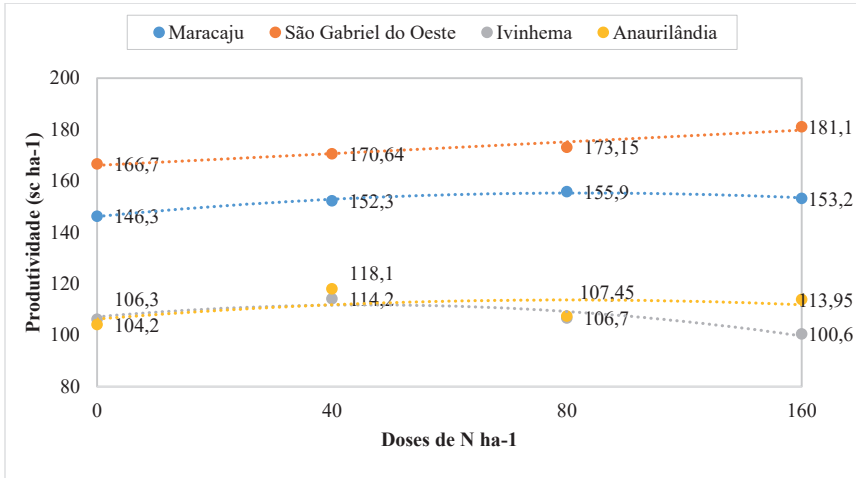


Figura 6. Produtividade do milho safrinha em função de doses de nitrogênio (N) em cobertura (V3) em São Gabriel do Oeste, Maracaju, Anaurilândia e Ivinhema, MS. Fundação MS, 2023. Maracaju: $y = 146,2742 - 0,1924x + 0,0009x^2$ ($R^2 = 0,99$). São Gabriel do Oeste: $y = 166,6866 + 0,0887x$ ($R^2 = 0,99$). Ivinhema: $y = 107,9954 + 0,0946x - 0,0009x^2$ ($R^2 = 0,71$). Anaurilândia: $y = 106,9672 + 0,1127x - 0,0005x^2$ ($R^2 = 0,20$).

Quanto à eficiência das fontes nitrogenadas, em diferentes locais de Mato Grosso do Sul (Maracaju, São Gabriel do Oeste, Anaurilândia e Ivinhema) não se observou diferença entre as fontes avaliadas, aplicadas em cobertura, no estágio V3 do milho safrinha (Figura 7). Sendo assim, a sugestão é para que se utilize a fonte nitrogenada de menor custo por unidade de

nitrogênio (R\$/kg de N).

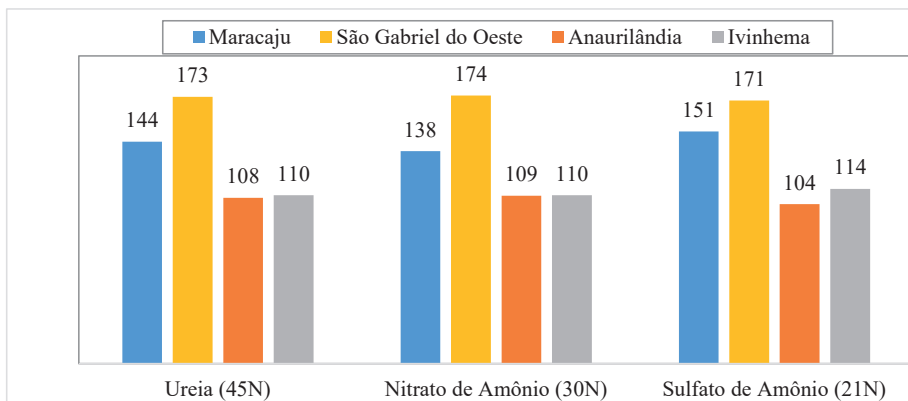


Figura 7. Produtividade do milho safrinha ($sc\ ha^{-1}$) em função das fontes de nitrogênio ((ureia (45%N), nitrato de amônio (30%N) e sulfato de amônio (21%N)), aplicadas em cobertura, em São Gabriel do Oeste, Maracaju, Anaurilândia e Ivinhema, MS. Fundação MS, 2023.

Em experimentos de adubação do sistema soja / milho safrinha, as doses de potássio que atendem a demanda dessas duas culturas estão entre 80 e $120\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O em solo arenoso e argiloso (Figura 8) com teores de potássio no solo de $1,22$ e $4,04\ mmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente (Figura 9).

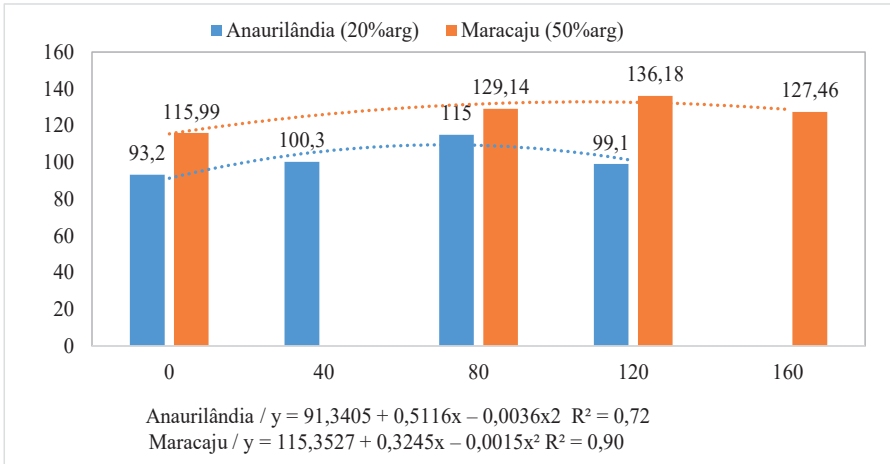


Figura 8. Produtividade do milho safrinha em doses de potássio (K_2O) em Anaurilândia (20% argila) e Maracaju (50% argila). Fundação MS, 2023.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

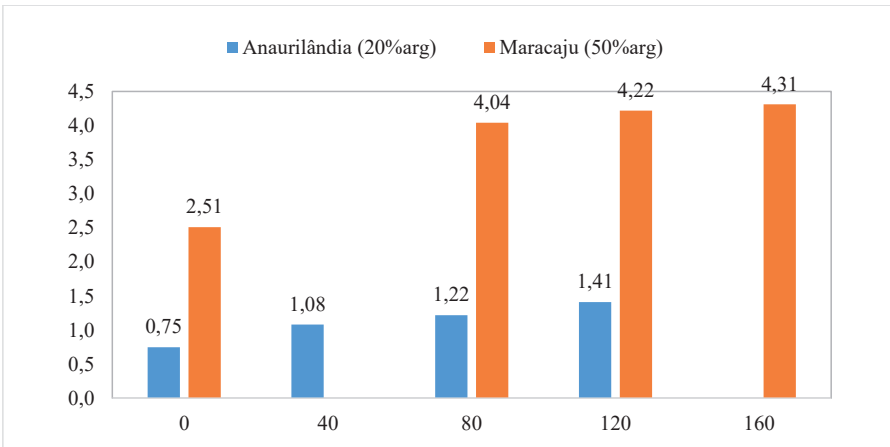


Figura 9. Doses de potássio (K_2O) e teor de potássio no solo (K , $mmolc\ dm^{-3}$) em Anaurilândia (20% argila) e Maracaju (50% argila). Fundação MS, 2023.

É importante ressaltar que o fornecimento adequado de potássio ao milho safrinha permite maior tolerância das plantas ao complexo de enfezamento, com doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O no sistema de produção.

A fonte de potássio utilizada no sistema de produção precisa dar segurança no suprimento da demanda das culturas e contribuir com o aumento dos teores de potássio no solo. Em trabalho conduzido em solo arenoso, com baixos teores de potássio (Figura 10), observa-se ajuste linear no aumento dos teores de potássio utilizando o KCl em relação aos fertilizantes Kforte e Potasil.

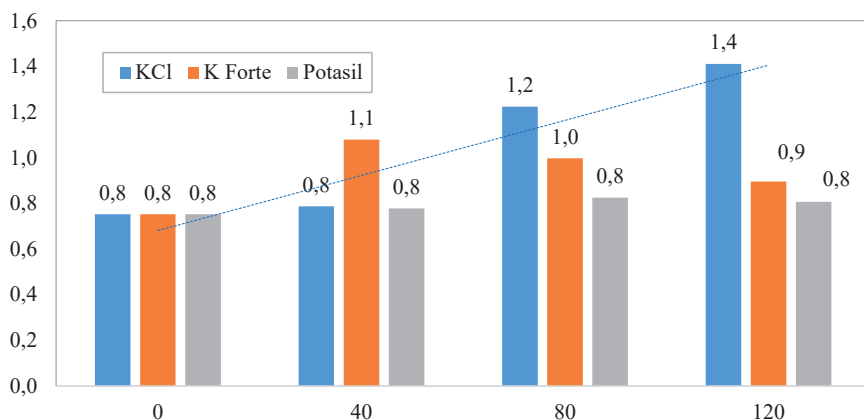


Figura 10. Fontes de potássio (K), doses de potássio (K_2O) e o teor de potássio no solo (K , mmolc dm^{-3}) após seis meses da aplicação dos fertilizantes em Anaurilândia, MS (20% argila). Fundação MS, 2023. KCl: $y = 0,6816 + 0,0060x$ ($R^2=0,91$) DMS: 0,34.

Em solos arenosos, com argila inferior a 40%, sugere-se a manutenção dos teores de enxofre no solo de 10 mg dm^{-3} na

profundidade de 0-40 cm. Teores abaixo desse valor precisam ser corrigidos. Os resultados obtidos em solos arenosos e argilosos apresentam elevação dos teores de enxofre no solo na camada de 0-40 cm, segundo as equações: $y = 4,2311 + 0,0273x$ ($R^2 = 0,64$) e $y = 2,8811 + 0,0328x$ ($R^2 = 0,77$) para Anaurilândia e Maracaju, MS, respectivamente, ou seja, a cada 1 kg ha^{-1} de enxofre aplicado via gesso agrícola (15% S) ou enxofre elementar granulado com bentonita (90% S), houve aumento médio de $0,030 \text{ mg dm}^{-3}$ de S no solo na camada de 0-40 cm (Tabela 7).

Caso o solo apresente teores acima do adequado para enxofre, deve-se considerar a reposição de enxofre pela exportação desse nutriente pelos grãos, considerando, a cada tonelada de soja e milho produzido, a exportação de 5,5 e 1,1 kg ha^{-1} , respectivamente, para a efetiva manutenção dos teores no solo.

A análise foliar do milho safrinha é uma ferramenta eficaz para o diagnóstico do estado nutricional da cultura e auxilia na interpretação das práticas nutricionais aplicadas. A coleta das folhas deve ser realizada no florescimento feminino (embonecamento ou momento da emissão dos “cabelos” das espigas), coletando o terço médio da folha oposta e abaixo da espiga principal. Para interpretação podem ser utilizadas as faixas de teores adequados proposta por Büll (1993), apresentadas na Tabela 8.

Tabela 7. Produtividade do milho safrinha e teor de enxofre no solo (S, mg dm⁻³), em função de doses e fontes de enxofre (S) em Anaurilândia e Maracaju, MS. Fundação MS, 2023.

Dose de S (kg ha ⁻¹)	Produtividade (20%arg)	Produtividade (50%arg)	S no solo - 0-40 cm (20%arg)	S no solo - 0-40 cm (50%arg)
	(sc ha ⁻¹)		(mg dm ⁻³)	
0	89,34 ¹	66,00 ²	3,17 ³	2,34 ⁴
30	87,22	83,00	5,73	3,67
60	99,98	85,87	6,95	6,22
120	97,15	94,00	6,80	6,19
Fonte de S				
Enxofre elementar (90%S)	92,26	73,12 b	5,87	2,92 b
Gesso agrícola (15%S)	94,58	91,31 a	5,46	6,29 a
Teste F				
Dose - D	2,73 ^{ns}	3,24 [*]	9,34 ^{**}	12,20 ^{**}
Fonte - F	0,39 ^{ns}	7,73 [*]	0,53 ^{ns}	37,29 ^{**}
D*F	1,13 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,72 ^{ns}	10,17 ^{**}
Regressão - D	Linear	Linear	Linear	Linear
DMS (5%) - F	-		-	1,10
CV (%)	11,19	22,50	42,75	50,75

^{**}, ^{*} e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. 1 $y = 89,0500 + 0,0841x$ ($R^2 = 0,50$); 2 $y = 71,1750 + 0,2103x$ ($R^2 = 0,83$); 3 $y = 4,2311 + 0,0273x$ ($R^2 = 0,64$); 4 $y = 2,8811 + 0,0328x$ ($R^2 = 0,77$).

Tabela 8. Faixas de teores adequados de nutrientes em folhas¹ de milho.

Macronutrientes (g kg ⁻¹)					
N	P	K	Ca	Mg	S
27,5-32,5	1,9-3,5	17,5-29,7	2,3-4,0	1,5-4,0	1,5-2,1
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
15-20	6-20	50-250	42-150	15-50	1,5-2,0

¹Coleta realizada no terço médio da folha oposta e abaixo da espiga principal durante o florescimento feminino do milho safrinha. Fonte: adaptado de Büll (1993).

Resultados obtidos no milho safrinha 2022 em cultivo em Naviraí, MS, evidenciam os baixos teores foliares para nitrogênio entre os macronutrientes; e boro, zinco, cobre e manganês entre os micronutrientes (Tabela 9).

Tabela 9. Teores foliares médios de nutrientes do milho safrinha 2022 obtidos de 100 e 80 amostras foliares coletadas em Maracaju (MJU) e Naviraí (NAV), MS, respectivamente. Fundação MS, 2022.

Local	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Mn	Fe
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Maracaju	22,2¹	2,3	20,5	3,4	2,0	1,5	8,4	16,0	10,0	50,4	133,0
Naviraí	19,3	2,5	22,3	3,7	2,0	1,6	6,8	12,3	5,2	33,4	76,8

¹Valores em negrito estão abaixo do teor foliar mínimo exigido pela cultura.

Em solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, fica evidente os problemas com relação a deficiências nutricionais para nitrogênio e todos os micronutrientes. Os micronutrientes precisam ser corrigidos via solo para o adequado suprimento das culturas. As fontes mais utilizadas para correção dos teores de boro e com resultados de pesquisa são: o tetraborato de sódio (14,3% B) e a ulexita (10% B), sendo os produtos comerciais, Granubor e o Produbor, as fontes com resultados positivos no aumento de produtividade da soja e do milho e no aumento dos teores desse micronutriente no solo. Os aumentos dos teores no solo são diferentes em função da textura. Em solo argiloso e arenoso, o aumento dos teores de boro, pelas doses avaliadas, apresentou ajuste pelas equações: $y = 0,2350 + 0,1070x$ ($R^2 = 0,98$) e $y = 0,1500 + 0,0530x$ ($R^2 = 0,94$), respectivamente. Assim, pode-se resumir que a cada kg ha^{-1} de boro aplicado pode-se aumentar em 0,1070 e 0,0530 mg dm^{-3} o teor de boro nos solos argilosos e arenosos, respectivamente (Tabela 10). Em solos arenosos sugere-se a aplicação parcelada da dose, sendo dividida em partes iguais antes da semeadura da soja e do milho safrinha, em função de maior teor foliar de boro pelo parcelamento (Tabela 10), como também pela influência na produtividade do milho safrinha (Tabela 11).

Tabela 10. Doses de boro, em aplicação única, em pré-semeadura da soja e parcelada em partes iguais na soja e no milho safrinha, sobre o teor foliar de boro (B) no milho safrinha, em Naviraí, MS. Fundação MS, 2021.

TRATAMENTOS	Dose de B (kg ha ⁻¹)			
	0,0	1,0	2,0	4,0
Aplicação	B (mg kg ⁻¹)			
Única	4,4	3,7 b	4,0 b	4,0 b
Parcelada	4,4*	14,0 a	13,8 a	6,7 a
DMS (5%)	1,85			
Regressão	Quadrática			

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa. *Aplicação antes da semeadura da soja e do milho.

Para os micronutrientes metálicos, zinco, manganês e cobre, sugere-se a correção dos teores no solo, elevando os valores para os teores adequados pela utilização dos fertilizantes oxi-sulfato de zinco, manganês e cobre.

A aplicação foliar de nutrientes na cultura do milho safrinha apresenta resposta positiva na produtividade de grãos para 100 g ha⁻¹ de zinco (EDTA 15% Zn) e 10 g ha⁻¹ de cobre (EDTA 14,5% Cu) em aplicação foliar no estágio V6 em solo arenoso (Figura 11). Para ambientes com solos argilosos (Figura 12), houve resposta da aplicação foliar de manganês entre as doses de 50 e 100 g ha⁻¹ (EDTA 13% Mn).

Tabela 11. Produtividade do milho safrinha (DKB290, em sc ha⁻¹), em função de doses de boro em aplicação única e parcelada em pré-semeadura da soja e do milho safrinha, em Naviraí, MS, em 2018, 2019 e 2020. Fundação MS.

Doses de boro (kg ha ⁻¹)	2018	2019	2020
0,0	84,4	68,8	112,2 ⁽¹⁾
1,0	89,9	65,7	111,4
2,0	96,9	63,7	117,7
4,0	88,3	66,1	120,3
Modos de aplicação			
100% pré-soja	87,7	65,6	114,2
50% pré-soja + 50% pré-milho	92,0	66,3	116,5
Teste F			
Doses (D)	1,54 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3,75 [*]
Modos (M)	1,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,06 ^{ns}
D*M	0,28 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,34 ^{ns}
DMS (5%)	-	-	-
CV (%)	14,8	14,2	6,0

Boro (tetraborato 14,3%)^{**} e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade, e não significativo pelo teste de F, respectivamente. Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa. ⁽¹⁾ $y = 111,4000 + 2,3014x$ ($R^2 = 0,84$).

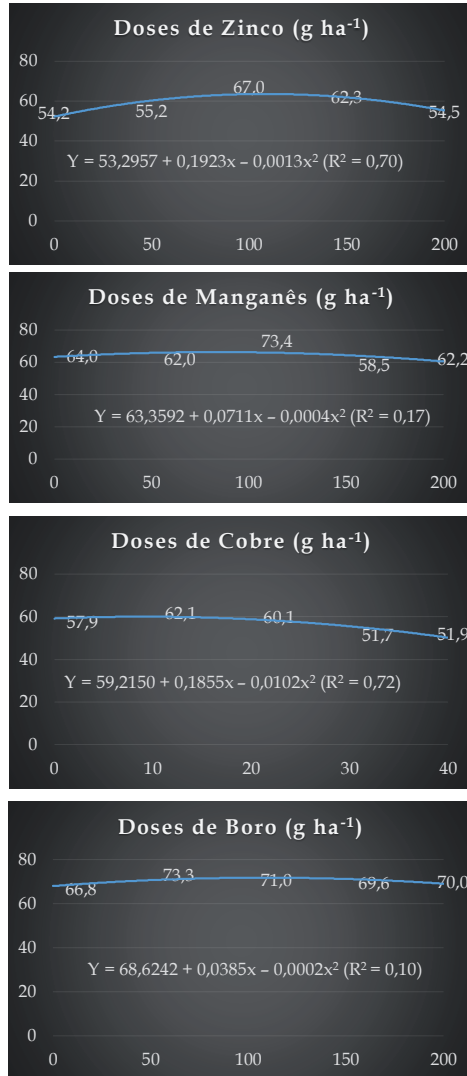


Figura 11. Produtividade do milho safrinha (sc ha⁻¹) em função da aplicação foliar (em V6) de doses de zinco (EDTA Zn15%), manganês (EDTA Mn13%), cobre (EDTA Cu14,5%) e boro (Boro Mea B10%) em Naviraí, MS (20% de argila), Fundação MS, 2022.

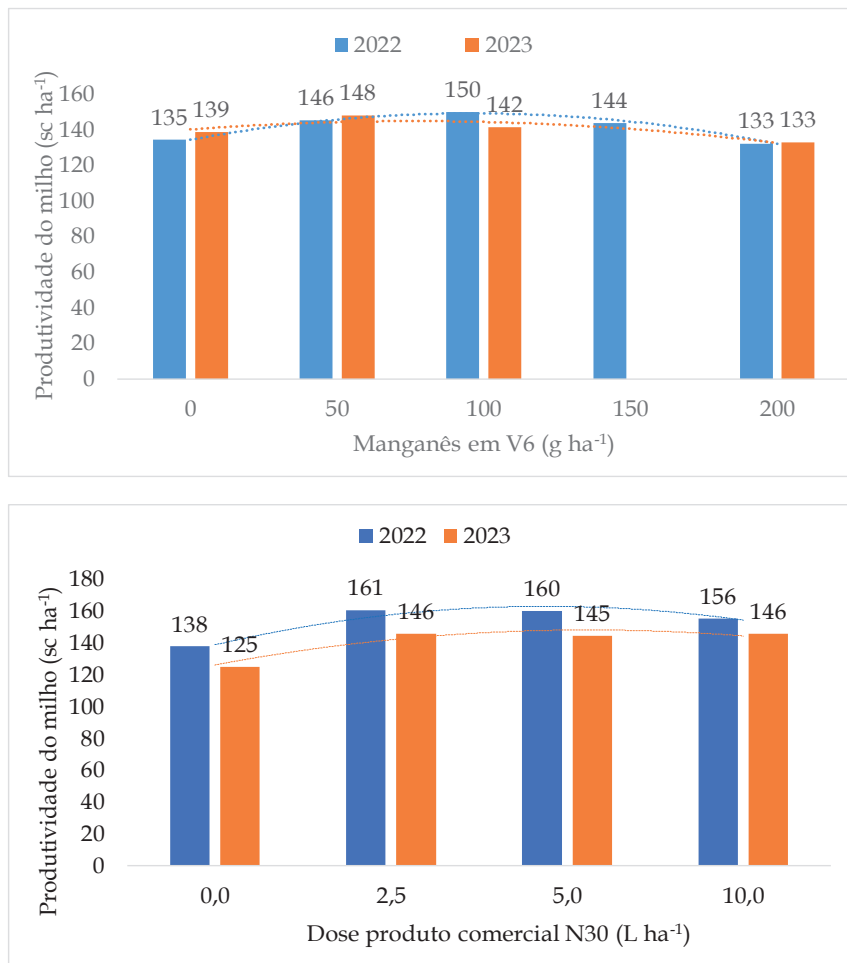


Figura 12. Produtividade do milho safrinha (sc ha⁻¹) em função da aplicação foliar (em V6) de doses de manganês (EDTA Mn13%) e nitrogênio (West N30 e Grap Nitro) nos anos 2022 e 2023, em Maracaju, MS (50% de argila). Fundação MS, 2023.

Manganês em 2022: $y = 134,5142 + 0,3099x - 0,0016x^2$ ($R^2 = 0,99$).

Manganês em 2023: $y = 141,3570 + 0,0264x - 0,0003x^2$ ($R^2 = 0,45$).

West N30 em 2022: $y = 139,9704 + 8,0859x - 0,6583x^2$ ($R^2 = 0,88$).

Grap Nitro em 2023: $y = 127,1438 + 18,9667x - 3,9108x^2$ ($R^2 = 0,80$).

As fontes utilizadas para o fornecimento desses micronutrientes foram os fertilizantes com o agente quelante EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético). Quanto à aplicação foliar de macronutrientes, houve resposta no aumento da produtividade do milho com a aplicação foliar de nitrogênio até a dose de 960 g ha⁻¹ em aplicação única em V6, com produto comercial com 384 g L⁻¹ de nitrogênio (d = 1,28 g mL⁻¹).

Considerações finais

Para correção da acidez do solo, os corretivos que possuem menor relação cálcio/magnésio apresentam resultados positivos na produtividade do milho safrinha. Quanto à aplicação de nitrogênio em solos com fertilidade adequada, a aplicação de ureia e formulados não apresenta significativa diferença no sulco de semeadura (45-50 kg ha⁻¹ de N) utilizando a “botinha” ou facão como mecanismo de aplicação do fertilizante. Para aplicação de nitrogênio em cobertura (V3), não houve diferença entre as fontes testadas: ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio (40 kg ha⁻¹ de N). Para o fornecimento de fósforo e potássio sugere-se utilizar os critérios de exportação de nutrientes para determinação das doses para manutenção dos teores adequados no solo. Quanto ao enxofre, o gesso agrícola proporciona melhores resultados produtivos em relação ao enxofre elementar em solos com baixos teores desse nutriente. Para os nutrientes zinco, manganês e cobre, a aplicação foliar desses nutrientes nas doses de 100, 100 e 10 g ha⁻¹ em V6, respectivamente, tem proporcionado maiores produtividades ao milho safrinha em solos arenosos. Para o boro, a aplicação

via solo, com o objetivo de elevar os teores, tem proporcionado maiores produtividades ao milho safrinha.

Referências bibliográficas

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Cálculo do nível crítico de zinco trocável em solos do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 2006. CD-ROM.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.63-131.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V.M.C.; HERMANI, L.C. Fertilidade de solos. In: Sistemas de Produção, 2. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas-MS, 2008.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. p.185-226.

GITTI, D.C.; ROSCOE, R.; RIZZATO, L.A. Manejo e fertilidade do solo para a cultura da soja. In: LOURENÇÃO, A.L.F.; GRIGOLLI, J.F.J.; GITTI, D.C.; BEZERRA, A.R.G.; MELOTTO, A.M. Tecnologia e produção: Safra 2018/2019. Curitiba: Midiograf, 2019. cap. 1, p. 15-53.

LOURENÇÃO, A.L.F. Resultados da rede de validação de híbridos de milho safrinha. Fundação MS, Maracaju, MS, 11 de març. de 2024. Disponível em: <<https://www.associadofms.com.br/#/dashboard/publicacoes/>>

conteudos?tipo=RE&categoria=5>. Acesso em: 11 de mar. de 2024.

OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA-JUNIOR, A. Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja. Circular Técnica 62, Embrapa Soja, Londrina-PR, 2008. 8p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

SFREDO, G.J.; STORER, W.N.; SILVA, N. dos S. e.; SOUZA, M.P. de. Estimativa do nível crítico de cobre para a soja, em solos do cerrado brasileiro. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29. Guarapari, 2010. Fertbio 2010: Anais. Guarapari, ES:ENCAPER-SBCS. 2010. CD ROM.

SFREDO, G.J.; STORER, W.N.; SILVA, N. dos S.; SOUZA, M.P. de. Nível crítico de zinco trocável para a soja, em solos do Cerrado do Brasil. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., Fortaleza, 2009. O solo e a produção de bioenergia, perspectivas e desafios. Anais. Fortaleza: UFCE; SBCS, 2009. 1 CD-ROM.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; OLIVEIRA, F.A. de; CASTRO, C. de F. Estimativa do nível crítico de manganês trocável, em solos do Paraná: In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. Resumos... Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 432-433. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F.R.; OLIVEIRA NETO, W. de. Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. Solo: alicerce dos sistemas de produção. Botucatu: UNPES; SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; SIBALDELLI, R.N.R.; MORAIS, J.Z. Níveis críticos de manganês em três solos de cerrado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., Rio Verde, 2008. Resumos. Londrina: Embrapa Soja, 2008. p.299-301. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Correção do solo e adubação da cultura da soja. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 33).

Capítulo 4

BIOLOGIA DO SOLO NA NUTRIÇÃO E CRESCIMENTO DA CULTURA DO MILHO

Marco Antonio Nogueira¹; Jhonatan Rafael Wendling²; Aghata Cristie Rewa Charnobay³; Mariangela Hungria¹

Palavras-chave: bioinsumos, promoção de crescimento de plantas, qualidade do solo.

Resumo: Ao mesmo tempo que a agricultura precisa atender a uma demanda crescente por alimentos, fibras e biocombustíveis, também deve conciliar aspectos econômicos e ambientais. A produtividade agrícola, entre outros fatores, depende das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A eficiência dos sistemas produtivos depende do papel da biologia do solo que atua nos ciclos biogeoquímicos, que por sua vez, depende de um ambiente biologicamente favorável. Cobertura constante do solo, com mínimo revolvimento e diversificação de culturas são a base para esse ambiente, o que também contribui para o sequestro de carbono no solo. O bom manejo do solo favorece não apenas a biota nativa, mas também aqueles microrganismos selecionados e aplicados em altas concentrações para desempenhar uma função específica, seja nutricional, alívio de estresses ou controle de pragas, chamados bioinsumos. Microrganismos como *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e fungos micorrízicos arbusculares podem aumentar a produtividade e a eficiência de uso de nutrientes na cultura do milho por mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio,

¹Pesquisadores da Embrapa Soja. Rodovia Carlos João Strass, s/nº Acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta. Caixa Postal: 4006, CEP: 86085-981 - Londrina - PR. E-mail: marco.nogueira@embrapa.br; mariangela.hungria@embrapa.br

²Analista de pesquisa e desenvolvimento em entomologia, Instituto Goiano de Agricultura, Montividiu - GO.

³Doutoranda em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR.

produção de fitormônios, mobilização de nutrientes, mitigação de estresses abióticos e controle biológico. Para aumentar o sucesso do uso desses microrganismos é preciso compreender suas interações entre si e com o ambiente, adotar boas práticas de manejo do solo, desenvolvimento de novas formulações, boas práticas de inoculação e continuar a busca por isolados mais eficientes e multifuncionais. A qualidade dos bioinsumos também é essencial, garantindo que atendam a critérios mínimos de concentração, pureza e identidade da(s) estirpe(s), proporcionando segurança não apenas aos produtores, mas também aos consumidores.

Introdução

A agricultura permitiu a consolidação da civilização humana, mas se depara com um dilema no século XXI: como suprir a crescente demanda por alimentos, fibras e biocombustíveis de forma sustentável, sem causar danos ao ambiente e utilizar de forma mais eficiente os recursos de produção? Neste contexto, a qualidade do solo se destaca como uma variável crítica para o sucesso da produção agrícola, mas também como um elo delicado que liga preocupações socioambientais (Grabowski e Self, 2022), como o aumento dos custos de produção e de riscos ambientais inerentes ao uso de insumos como os fertilizantes, especialmente os nitrogenados.

Os microrganismos representam as formas mais abundantes de vida na Terra e representam a maior proporção da diversidade genética estimada no planeta (Lambais et al., 2005). O solo é considerado o principal *hostspot* de diversidade

biológica e, em apenas um grama, podem ser encontradas de 10 milhões a um bilhão de células vivas, caracterizando-se como um sistema vivo complexo e dinâmico (Cardoso et al., 2013).

As comunidades microbianas do solo têm grande importância para o sistema, sendo responsáveis pela mineralização e síntese da matéria orgânica (Neill e Gignoux, 2006), com papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos (Bell et al., 2005), formação e manutenção da estabilidade de agregados do solo, além de auxiliar no controle biológico e biorremediação (Whipps, 2001). A capacidade dos solos sob vegetação natural ou culturas agrícolas em fornecer nutrientes às plantas é favorecida pela diversidade e atividade biológica, que contribuem para o crescimento e aumenta a resiliência das culturas (Bünemann et al., 2018).

No contexto da produção de milho (*Zea mays* L.), uma cultura de fundamental importância para a alimentação humana e animal, a abordagem tradicional de fertilização química se torna um importante componente dos custos de produção e que pode ter implicações ambientais. No caso da adubação nitrogenada, além dos altos custos do fertilizante, há também preocupações com seus impactos no ambiente, decorrentes não apenas do seu processo de fabricação, mas também das perdas decorrentes de seu uso, que podem resultar na contaminação da água por nitrato e emitir gases de efeito estufa na atmosfera (Alves et al., 2020). É claro, que para suprir as demandas de nitrogênio (N) para cultivos de milho cada vez mais produtivos, não é possível substituir totalmente os fertilizantes nitrogenados pela fixação

biológica de nitrogênio, a exemplo do que ocorre com a soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Entretanto, esses bioinsumos podem contribuir para o aumento da eficiência de uso de fertilizantes nitrogenados, aumentando a eficiência do sistema de produção (Hungria e Nogueira, 2022).

No caso do fósforo (P), a maioria dos solos brasileiros apresenta teores naturalmente baixos desse nutriente, que precisa ser fornecido por fontes externas ao sistema de produção, geralmente na forma de fertilizantes fosfatados solúveis. No entanto, a maior parte do P fornecido se torna rapidamente indisponível para as plantas por meio de reações de fixação à fase sólida do solo. Outra fração não prontamente disponível é o P orgânico contido na matéria orgânica do solo (MOS). A microbiota tem papel importante na ciclagem desses compartimentos de P do solo e, neste contexto, os microrganismos mobilizadores de fosfato constituem uma opção para aumentar a disponibilidade de P para as plantas. O manejo adequado favorece a atividade biológica do solo e, por consequência, os ciclos biogeoquímicos (Bini et al., 2014). Além disso, a inoculação com cepas de microrganismos reconhecidamente eficientes em mobilizar tais formas de P do solo tem sido adotada como uma ferramenta importante para aumentar a disponibilização de P solúvel às plantas, seja das frações minerais, por meio da solubilização, seja das frações orgânicas, por meio da mineralização (Bini et al., 2023). Recentes pesquisas realizaram a prospecção de isolados de *Bacillus* spp. eficientes na mobilização de fosfatos (de Sousa et

al., 2021), o que resultou no lançamento do primeiro inoculante comercial para esta finalidade no mercado brasileiro. Depois disso, várias outras empresas privadas têm lançado inoculantes à base de microrganismos de várias espécies com capacidade de mobilização de fosfatos.

Para que os microrganismos desempenhem um papel favorável ao desenvolvimento das plantas, é preciso criar um ambiente biologicamente favorável. Desta forma, não apenas o manejo adequado do solo para estimular a comunidade microbiana nativa, mas também a inoculação com cepas elite de microrganismos selecionados vêm se tornando ferramentas integradas, cada vez mais consolidadas no manejo nutricional da cultura do milho e de outras culturas no sistema de produção de grãos. Esses produtos, além de microrganismos benéficos, podem ser baseados em extratos de plantas, biofertilizantes e outros insumos de origem biológica e têm demonstrado capacidade de melhorar o desempenho das culturas pelo aumento da eficiência de uso de nutrientes, tornando o sistema de produção mais eficiente e sustentável (Santos et al., 2019).

Este capítulo tem o objetivo de explorar os benefícios do favorecimento da fertilidade biológica do solo por meio de boas práticas agrícolas, de modo a estimular a ciclagem de nutrientes e criar um ambiente biologicamente favorável para que se maximize os efeitos de insumos biológicos destinados à nutrição vegetal, visando ao aumento da eficiência de uso de nutrientes, com enfoque especial na cultura do milho. A análise abrangente dos benefícios ambientais, econômicos e agrônômicos de

abordagens biológicas é fundamental para embasar sistemas de produção de grãos que sejam capazes de contribuir para o fornecimento de alimentos, fibras e biocombustíveis não apenas para o Brasil, mas para a população global, com aproveitamento mais eficiente dos recursos de produção disponíveis.

Uso do solo e atividade biológica

O desenvolvimento de sistemas sustentáveis de manejo do solo adaptados às condições regionais aumenta a sustentabilidade dos sistemas de produção de grãos e a segurança alimentar (Anghinoni et al., 2021). No Brasil, o manejo conservacionista em sistema plantio direto (SPD) abrange mais de 33 milhões de hectares das áreas cultivadas com grãos (Fuentes-Llanillo et al., 2021) e ajuda a promover a conservação do solo e da água, melhora a fertilidade e a atividade biológica do solo, o que aumenta a sustentabilidade ambiental e econômica dos sistemas de cultivo a longo prazo (Mondal et al., 2020; Serafim et al., 2023).

A comunidade microbiana do solo é responsável por processos críticos, como ciclagem de nutrientes atuando nos ciclos biogeoquímicos, formação e mineralização de matéria orgânica, degradação de compostos poluentes e promoção do crescimento e saúde das plantas por meio de interações benéficas na rizosfera (Schloter et al., 2018).

A capacidade do solo de desempenhar funções ambientais enquanto sustenta plantas, animais e humanos é definida como a saúde do solo (Doran e Zeiss, 2000) e pode ser avaliada com base em atributos físicos, químicos ou biológicos (Serafim et

al., 2023). A escolha dos atributos do solo mais relevantes para avaliação da sua qualidade ainda está em debate (Cardoso et al., 2013; Mendes et al., 2021), mas tem se consolidado cada vez mais como uma estratégia inédita globalmente (Mendes et al., 2019b). Uma vez que os atributos biológicos e bioquímicos são consequência dos organismos vivos do solo, sua avaliação pode prever precocemente se as estratégias de uso e manejo do solo estão afetando a sua qualidade e a sustentabilidade do agroecossistema (Hartman e Six, 2023; Wilhelm et al., 2023). Atributos como o C e o N da biomassa microbiana, a respiração basal e a atividade de enzimas relacionadas à atividade microbiana e aos ciclos biogeoquímicos mudam com o manejo agrícola antes que mudanças nos atributos físicos e químicos do solo sejam detectáveis (Nunes et al., 2020; Mendes et al., 2021), o que torna os bioindicadores ferramentas úteis para monitorar a qualidade e a saúde do solo.

A sensibilidade dos bioindicadores em detectar alterações na qualidade do solo pode variar com fatores bióticos e abióticos (Fierer e Wood, 2021; Zuber et al., 2017) e podem ser alterados pelo uso e manejo do solo ao longo do tempo. Por exemplo, Bini et al. (2014) demonstraram que bioindicadores relacionados à ciclagem de N foram mais sensíveis do que os relacionados à ciclagem do C para discriminar sistemas de cultivo convencional e SPD. Ao estudar práticas de manejo sustentável em pastagens, Damian et al. (2021) observaram que o C da biomassa microbiana, β -glicosidase e fosfatase ácida foram mais sensíveis para discriminar sistemas de pastagens convencionais de áreas

de pastagens mais intensivas e diversificadas sob diferentes solos e condições climáticas contrastantes no Brasil.

Como visto até aqui, há vários métodos para avaliar a atividade microbiana e a qualidade biológica do solo. Entretanto, estabelecer uma relação entre determinado atributo microbiológico/bioquímico com o potencial produtivo das culturas é o que dá um caráter prático à sua interpretação, assim como ocorre com os atributos químicos e físicos da qualidade do solo. Por exemplo, para um certo teor de P no solo em extrator Mehlich-I pode-se interpretá-lo como baixo, médio ou adequado, o que reflete a probabilidade da cultura em responder à adição do nutriente via fertilizante. Para os atributos microbiológicos não havia, até pouco tempo, uma forma de interpretá-los em classes de resposta. Além disso, muitas vezes o comportamento produtivo das culturas, principalmente em sistemas de produção aprimorados como SPD e integração lavoura-pecuária (ILP) não podem ser explicados apenas pelos resultados das análises químicas do solo (Nicolodi et al., 2008), o que enfatiza a importância de atributos biológicos relacionados ao funcionamento do solo (Cardoso et al., 2013; Mendes et al., 2021).

Após mais de 20 anos de pesquisas lideradas pela Dra. Ieda de Carvalho Mendes e sua equipe, na Embrapa Cerrados, duas enzimas do solo, a arilsulfatase e a β -glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente, foram selecionadas e desenvolvidas tabelas de classes de interpretação (Mendes et al., 2019a). Entre as razões para seu

uso estão a fácil determinação e por apresentarem relação com a produtividade de grãos das culturas, assim como as curvas de calibração de nutrientes (Lopes et al., 2013). Este foi o ponto de partida e gerou a primeira tabela de interpretação para a região dos cerrados (Mendes et al., 2019a) que foi aperfeiçoada ao longo dos anos, culminando na determinação de um índice de qualidade do solo baseado em atributos físicos, químicos e microbiológicos/bioquímicos (Mendes et al., 2019b). Com isso, o produtor brasileiro tem a possibilidade de, pela primeira vez, enviar suas amostras de solo para um laboratório de rotina de análise e ter também resultados relacionados a importantes funções do seu solo vistas pela ótica da biologia do solo, inclusive com a possibilidade de interpretação se o solo está saudável, adoecendo, doente ou em recuperação (Mendes et al., 2019b).

Conhecer como está a saúde do solo também pelo aspecto biológico é de grande importância para que importantes funções desempenhadas pela sua comunidade biológica contribuam para o melhor funcionamento do ambiente de produção, por meio da ciclagem mais eficiente de nutrientes e carbono. Um solo biologicamente mais ativo também pode dar melhores condições para que os insumos biológicos a ele aplicados tenham melhores condições de sobrevivência e de desempenho das funções esperadas como será visto nos próximos tópicos.

A importância das raízes para a biologia do solo

A simplificação dos sistemas de produção como a tradicional sucessão soja-milho, soja-trigo (*Triticum* spp.) ou soja-pousio ano após ano, aliada ao mau manejo do solo, levam

à sua degradação física, por meio da compactação, o que leva a processos erosivos e à degradação biológica, com a perda de atividade e diversidade. A simplificação acima do solo, restrita a poucas espécies de plantas cultivadas a cada safra, também simplifica a diversidade dentro do solo. Isso pode impactar negativamente os ciclos biogeoquímicos e no equilíbrio entre as populações, favorecendo a ocorrência de patógenos, como nematoides e fungos de solo (Bell et al., 2005). O aumento da diversidade de plantas é fundamental para restabelecer o equilíbrio entre as populações microbianas, além de favorecer também os aspectos físicos do solo, pelo aumento de bioporos produzidos pelas raízes e pela atividade biológica. A simples inclusão de uma terceira espécie de planta, no caso a *Brachiaria ruziziensis*, solteira ou consorciada com o milho em várias áreas de produção soja-milho no Norte do Paraná, elevou a taxa de infiltração estável de água de 8-27 mm h⁻¹ para 32-129 mm h⁻¹, com claro aumento desses valores com o tempo de inclusão da *B. ruziziensis* no sistema (Silva et al., 2028).

A rizosfera é definida como a zona de influência das raízes no solo circundante, restrita a poucos milímetros de sua superfície. É uma região que recebe grande aporte de formas de carbono de fácil uso, aumentando expressivamente a ocorrência de vários microrganismos que ali estabelecem as mais variadas relações ecológicas entre si, desde o neutralismo, em que uma população não interfere na outra, até relações mais complexas como o mutualismo, em que uma população se beneficia pela presença de outra, e o antagonismo, em que uma população inibe

o estabelecimento de outra. Assim, a presença de plantas vivas é fundamental para o estímulo à comunidade microbiana do solo, não apenas pelo aporte de substratos orgânicos proveniente de sua biomassa aérea e raízes, mas também, e em grande parte, pela exsudação radicular (Kuzyakov e Razavi, 2019).

Em um estudo para avaliar o efeito do cultivo de milho, aveia preta (*Avena strigosa*) e *B. ruziziensis* em sucessão à soja, Tonon-Debiasi et al. (2024) encontraram maior teor de carbono lábil, facilmente acessível aos microrganismos, no solo cultivado com as duas últimas espécies e este atributo foi diretamente proporcional à atividade da celulase, respiração basal e carbono da biomassa microbiana, indicando que culturas de cobertura com sistema radicular mais abundante contribuem com maior aporte de carbono lábil ao solo e este estimula a atividade biológica.

Como será visto a seguir, a produção de fitormônios está entre os vários mecanismos de promoção de crescimento de plantas por alguns microrganismos benéficos, o que estimula o desenvolvimento das raízes (Fukami et al., 2017). Esse aumento de raízes não apenas aumenta a capacidade da planta em explorar o solo em busca de água e nutrientes (Hungria et al., 2010; Hungria, 2011), mas também pode favorecer a comunidade microbiana do solo devido à maior oferta de exsudatos radiculares, resultando em aumento da atividade enzimática do solo e da produtividade da soja em sucessão (Figura 1) (Charnobay et al., 2023).

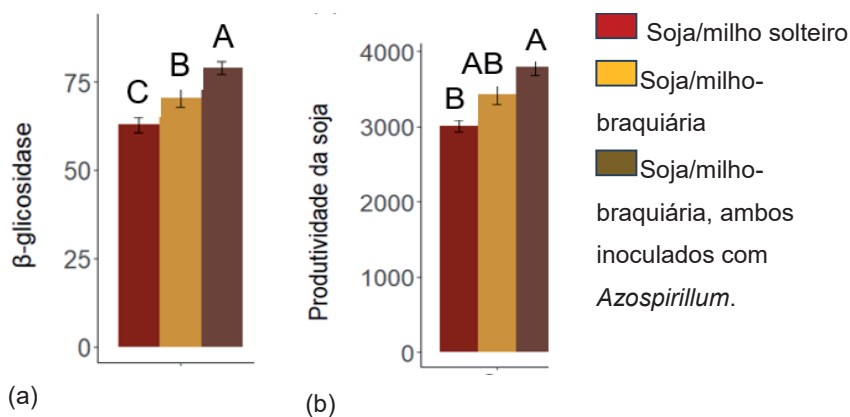


Figura 1. Efeito do cultivo de milho safrinha solteiro e do consórcio milho-braquiária (com ou sem inoculação de *Azospirillum*) sobre (a) atividade da enzima β -glucosidase (μg de PNF/g/h) no solo e (b) produtividade de grãos de soja (kg/ha) cultivada em sucessão, no sétimo ano de um experimento conduzido na Embrapa Soja, em Londrina-PR. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% (Adaptado de Charnobay et al., 2023).

É importante enfatizar que a grande maioria dos microrganismos do solo, estimada em 95-99% de toda a diversidade, não pode ser cultivada em condições artificiais de laboratório (Lambais et al., 2005). Portanto, o manejo adequado que favoreça o aporte e a diversificação das fontes de carbono pode favorecer a comunidade microbiana nativa do solo (Damian et al., 2021) para que desempenhe seu importante papel de ciclar carbono e nutrientes, e promover a competição entre as populações, mantendo-as em equilíbrio, de modo que

uma não se sobressaia, especialmente as patogênicas (Bell et al., 2005). Além do favorecimento da comunidade microbiana nativa, a pesquisa tem trabalhado para selecionar cepas de microrganismos que sejam eficientes em desempenhar alguma função específica na planta. Uma vez identificadas, estas cepas podem ser produzidas massivamente e aplicadas nos sistemas de produção na forma de inoculantes (Santos et al., 2019; De Sousa et al., 2021), como será visto a seguir.

Uso de microrganismos selecionados como estratégia de aumento de produtividade da cultura do milho

Para atingir produtividades cada vez mais elevadas, a agricultura está em constante tecnificação, mas quase sempre altamente dependente do uso de insumos químicos (Mcarthur e Mccord, 2017) e da baixa diversificação dos sistemas de produção (Debiasi et al., 2015). A adoção de práticas conservacionistas, como o SPD, é uma estratégia utilizada para promover a produção mais eficiente por um longo período, minimizando impactos ambientais, principalmente em relação ao monocultivo, que representa grande parte do sistema de produção mundial (Sá et al., 2017).

O uso de microrganismos visando oferecer benefícios nutricionais, promoção de crescimento, atenuação de estresses abióticos ou proteção contra patógenos tem sido uma alternativa sustentável em escala comercial na agricultura moderna (Whipps, 2001; Santos et al., 2019) e vem crescendo intensamente nos últimos anos no Brasil e no mundo. O aumento

no rendimento das culturas devido ao uso de microrganismos benéficos está diretamente relacionado ao melhor entendimento das interações solo-planta e do seu manejo mais assertivo, visto que sua ação nos solos e nas plantas é de grande complexidade (Den Herder et al., 2010; Gewin, 2010). Assim, estratégias de uso, como melhor momento de aplicação, dose adequada, cepa adequada, condições de aplicação, compatibilidade com outros produtos, etc., constituem um rol de observações a serem consideradas para aumentar as chances de sucesso de uso do microrganismo de interesse.

Mecanismos de promoção de crescimento de plantas

Algumas bactérias denominadas promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) são capazes de estimular o desenvolvimento vegetal por meio de diversos mecanismos, como a supressão ou aumento de tolerância a patógenos, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, produção de fitormônios e/ou melhoria da qualidade do solo (Dobbelaere et al., 2003; Cassán e Diaz-Zorita, 2016).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é mediada exclusivamente por alguns procariotos, capazes de produzir o complexo enzimático nitrogenase, que consiste em duas partes metálicas: dinitrogenase MoFe (proteína molibdênio-ferro), que atua como a parte catalítica, e dinitrogenase redutase (proteína de ferro) que serve como a parte redutora. Essas partes metálicas são codificadas pelos genes *nif*, sendo que os genes *nifD* e *nifK* codificam a dinitrogenase MoFe e o gene *nifH* codifica a dinitrogenase redutase (Seefeldt et al., 2018;

Nonaka et al., 2019). Existem vários graus de interação com a planta e capacidade de realizar FBN, desde contribuições mais modestas, em vida livre, até as mais eficientes, em simbioses com leguminosas em estruturas especializadas denominadas nódulos. Entretanto, a maioria dos fixadores de N em não leguminosas são considerados associativos, podendo colonizar tanto endofiticamente quanto a rizosfera das plantas (Bobbelaere et al., 2003; Hardoim et al., 2008).

Outro mecanismo de promoção de crescimento de plantas disseminado entre vários microrganismos é a produção de hormônios vegetais ou fitormônios. Estas substâncias, tais como auxinas, giberelinas, etileno, citocininas e ácido abscísico (Wong et al., 2015) são naturalmente produzidas em partes específicas das plantas, de onde são transportados para outras partes para desempenhar funções fisiológicas específicas (Santner et al., 2009). Entretanto, vários microrganismos também podem produzir esses fitormônios, como é o caso do ácido indolacético (AIA), um dos fitormônios do grupo das auxinas, com ação sobre a formação e alongamento de raízes (Lwin et al., 2012). Ele desempenha papel vital nas respostas celulares, incluindo a divisão, expressão gênica, formação de órgãos, pigmentação, germinação de sementes e tolerância a estresses (Spaepen et al., 2007).

O AIA pode atuar tanto como estimulador quanto inibidor, sendo que a quantidade necessária para promover o crescimento ou a inibição depende da espécie de planta. O estímulo ao sistema radicial aumenta a capacidade de absorção

de água e nutrientes, podendo auxiliar na mitigação de estresse hídrico (Gupta et al., 2015; Ribeiro et al., 2018).

A produção de AIA por BPCP tem efeito na mitigação de estresses abióticos, onde durante a interação entre bactéria e planta, o fitormônio produzido pela bactéria tem a capacidade de estimular a expressão do gene ACC sintase na planta, que resulta na produção de ACC (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico). Curiosamente, essa mesma molécula de ACC pode ser utilizada pela bactéria, por meio da enzima ACC deaminase, como fonte de nitrogênio. Esse processo reduz a conversão do ACC em etileno, que atua como regulador do crescimento e sinalizador de estresse na planta. Portanto, microrganismos endofíticos que possuem a enzima ACC-deaminase podem reduzir os níveis de etileno na planta, minimizando a resposta ao estresse (Glick et al., 2012; Hardoim et al., 2008).

Algumas cepas de microrganismos também podem mobilizar fosfatos inorgânicos de baixa solubilidade da matriz mineral do solo, aumentando a disponibilidade de P solúvel para as plantas (Lyu et al., 2016; de Sousa et al., 2020). Este mecanismo de ação ocorre pela liberação de ácidos orgânicos, que são compostos de baixo peso molecular capazes de quelar cátions ligados aos fosfatos, convertendo-os em formas solúveis (Archana et al., 2012). A produção de ácidos orgânicos também promove a acidificação local do solo, auxiliando na dissolução de P de complexos de cálcio de baixa solubilidade (Mendes et al., 2014; Li et al., 2015).

Outros mecanismos relacionados à promoção de

crescimento de plantas também podem ser atribuídos a alguns isolados de BPCP, como a produção de compostos antibióticos, enzimas líticas e compostos sideróforos, que contribuem para o biocontrole de patógenos e pragas, além de induzir resistência sistêmica nas plantas (Ganeshan e Kumar, 2005; Fukami et al., 2017). O biocontrole também pode ocorrer por competição entre os microrganismos por nutrientes e pontos de colonização do hospedeiro, também conhecida por ocupação de nicho. Muitas espécies de BPCP são capazes de produzir compostos antimicrobianos, enzimas líticas ou ácidos orgânicos fracos em seu ambiente circunvizinho, inibindo competidores (Tariq et al., 2005). Devido a essas propriedades, isolados de BPCP também podem ser utilizados no combate a patógenos de plantas. Além de compostos antimicrobianos, alguns isolados podem produzir compostos sideróforos, que têm alta afinidade com o ferro, o que causa a escassez local do nutriente, limitando o crescimento de outros microrganismos naquele ambiente (Das et al., 2007).

Além desses mecanismos, isolados de BPCP podem desencadear nas plantas a Resistência Sistêmica Induzida (RSI), que é promovida por elicitores que desencadeiam mecanismos de defesa contra patógenos (Boukerma et al., 2017).

Como visto, as plantas podem se beneficiar de microrganismos promotores de crescimento de plantas por meio de mecanismos isolados ou que ocorrem simultaneamente. Recentemente, tem sido intensa a busca por microrganismos multifuncionais, por exemplo, que ao mesmo tempo conseguem aumentar o suprimento de um determinado nutriente e

ainda atuar no controle de um fitopatógeno de solo. Outra possibilidade seria produzir um bioinsumo multifuncional, que contenha dois ou mais microrganismos que desempenhem distintas funções, desde que sejam compatíveis entre si (Santos et al., 2019).

Principais gêneros de microrganismos promotores de crescimento de plantas

Azospirillum

As bactérias deste gênero são Gram-negativas e podem se associar às plantas endofiticamente nos tecidos e também no rizoplano. Tem formato de bastonete com movimento ativo comumente uniflagelado, mede 1,0 µm de diâmetro por 2,0 a 3,0 µm de comprimento (Jofré et al., 2008; Díaz-Zorita et al., 2015). Esses microrganismos têm temperatura ótima para desenvolvimento entre 28 e 41 °C; quando supridos com fontes preferenciais de N como amônio, nitrato, nitrito ou aminoácidos, são aeróbicos típicos, mas quando o crescimento depende da fixação de N₂ são microaerofílicos (Dobbelaere et al., 2002), como ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Crescimento de *Azospirillum brasilense* estirpe Ab-V5 em meio de cultura semisolidificado sem N (NFb) mostrando película típica de crescimento microaerófilico (seta), condição em que a bactéria consegue fixar N biologicamente (adaptado de Hungria e Nogueira, 2022).

Azospirillum é um dos mais estudados gêneros de bactérias diazotróficas associativas (Cassán e Dias-Zorita, 2016). Foi inicialmente isolado por Beijerinck, em 1925, na Holanda, e primeiramente denominado *Spirillum lipoferum*. Em 1976, a pioneira no estudo dessa bactéria no Brasil, Dra. Johanna Döbereiner, onde hoje se encontra o Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia da Embrapa (Embrapa Agrobiologia), constatou sua ampla distribuição na rizosfera de várias gramíneas tropicais. Em 1978, Tarrand propôs o gênero *Azospirillum*, em alusão à sua capacidade de fixar nitrogênio

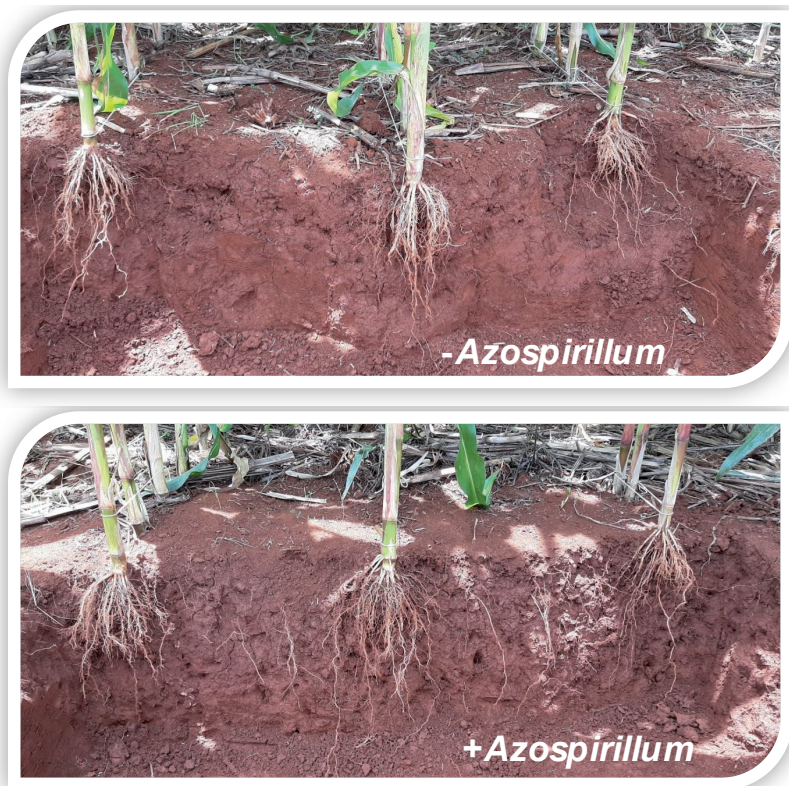


Figura 3. Crescimento de raízes laterais de milho inoculadas (acima) e não inoculadas (abaixo) com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6. Fotos: Embrapa Soja.

(azoto, do grego) e separou-o em duas espécies, *A. brasilense* e *A. lipoferum*. Desde então, novas espécies têm sido descritas e, até 2023, havia 24 táxons validados descritos na Coleção Alemã de Cultura de Células e de Microrganismos (DSMZ, 2023), dentre as quais *A. lipoferum* e *A. brasilense* são as espécies mais estudadas, sendo a última a de maior relevância na agricultura (Hungria, 2011). Apesar do pioneirismo de pesquisadores brasileiros em

estudos básicos iniciados há mais de 40 anos (Santos et al., 2019), a eficiência agronômica de isolados de *Azospirillum* só foi confirmada em 2004, na Embrapa Soja, a partir de um conjunto de isolados obtidos pela Universidade Federal do Paraná. Dentre os isolados, as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *A. brasilense* passaram a ser recomendadas para as culturas do milho e do trigo (Hungria et al., 2010), e o primeiro inoculante produzido industrialmente passou a ser comercializado em 2009 (Hungria e Nogueira, 2016). Desde então, dezenas de resultados vêm sendo publicados sobre a inoculação dessas e de outras culturas com *A. brasilense*, tendo representado em 2022, 16,7% das doses de inoculantes comercializadas no país, e é o inoculante mais utilizado no milho, cultura que recebeu algum tipo de inoculante em 22,4% das áreas cultivadas na safra 2022/2023 (ANPII, 2023).

Estudos relacionando cepas de *A. brasilense* à promoção de crescimento de diversas culturas, como milho e trigo, vêm sendo conduzidos com grande frequência (Hungria et al., 2010; Cassán et al., 2015). A produção de fitormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas é o principal mecanismo atribuído ao seu efeito promotor de crescimento de plantas (Cassán et al., 2014). A produção de auxinas, em especial o ácido indol-3-acético (AIA) promove mudanças no controle do crescimento vegetal, levando ao aumento de volume, ramificação e comprimento de raízes, em especial nos estágios iniciais da cultura (Cassán et al., 2014; Hungria et al., 2022). Também há relatos de que a produção de óxido nítrico (NO) age como sinalizador em uma

cascata de eventos mediados por hormônios que estimulam o desenvolvimento de raízes laterais (Correa-Aragunde et al., 2006). A Figura 3 ilustra a maior abundância de raízes secundárias de milho inoculado com *Azospirillum*, e com isso conseguem explorar mais eficientemente o solo das entrelinhas em busca de água e nutrientes, ao contrário das raízes das plantas não inoculadas, que se limitam predominantemente próximas à linha de semeadura. Além dos efeitos macroscópicos na morfologia radicial, a inoculação do milho com BPCP, entre as quais *A. brasilense*, também aumentou a quantidade de feixes vasculares do xilema, o que também contribui para que as raízes sejam mais eficientes no transporte de água e de nutrientes (Calzavara et al., 2018).

Por ser uma bactéria diazotrófica, *A. brasilense* também é capaz de fixar nitrogênio atmosférico, convertendo-o a uma forma assimilável por plantas e microrganismos (Saikia et al., 2012). Porém a quantidade de N fixada e disponibilizada pela bactéria não é suficiente para suprir a demanda de uma planta (Díaz-Zorita e Fernández-Canigia, 2009). Algumas estirpes de *A. brasilense* também podem solubilizar fosfato, tornando-o disponível para as plantas (Turan et al., 2012). A atenuação de estresses abióticos, como seca e salinidade (Rodríguez-Salazar et al., 2009; Cerezini et al., 2016), proteção contra patógenos (Fukami et al., 2016) e fitorremediação de solos contaminados (Tugarova et al., 2014) são efeitos atribuídos ao *Azospirillum* sp. em plantas cultivadas.

De acordo com Fukami et al. (2016), quando inoculado

em plantas de milho recebendo 24 kg ha^{-1} de N na semeadura e $67,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura (75% da dose recomendada), a inoculação com *A. brasilense* cepas Ab-V5 e Ab-V6 promoveu aumento de 555 kg ha^{-1} na produtividade de grãos comparado com o controle na mesma dose de N e sem inoculação, e sem diferir do tratamento controle com 100% da dose de N. Diversos trabalhos atribuem aumentos de produtividade em resposta à inoculação dessa BPCP na cultura do milho, e abre possibilidade para a diminuição da dose de fertilizante nitrogenado em até 25% (Hungria et al., 2010; Oliveira et al., 2018). Esses resultados foram confirmados por Hungria et al. (2022) com base em 30 experimentos de campo ao longo de 10 anos de pesquisas, em que a redução da adubação nitrogenada de cobertura do milho em 25% e inoculado com *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 foi equivalente à dose com 100% (90 kg ha^{-1}) de N em cobertura sem inoculação, ambos recebendo 24 kg ha^{-1} de N na semeadura (Figura 4). Essa redução não apenas reduziu os custos com o fertilizante nitrogenado da ordem de $\text{R\$ } 260 \text{ ha}^{-1}$, como também evitou a emissão de $236 \text{ kg de CO}_2\text{-eq ha}^{-1}$ pelo menor uso do fertilizante. Resultados semelhantes foram observados na região dos Cerrados, em Mato Grosso do Sul, em que a melhor resposta foi observada com 100 kg ha^{-1} de N (ureia) em cobertura e inoculação com *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6, em experimentos em que a dose de N de cobertura chegou a 200 kg ha^{-1} (Galindo et al., 2022). Esses resultados são atribuíveis principalmente ao aumento da eficiência de uso do N fertilizante devido ao aumento promovido no sistema de raízes

(Figura 3). Em uma pesquisa realizada com N marcado (^{15}N), observou-se que a recuperação do ^{15}N fornecido na forma de ureia pelo milho foi de 58% quando as plantas foram inoculadas com *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 na semeadura, enquanto as plantas não inoculadas recuperaram apenas 34% do ^{15}N aplicado (Martins et al., 2018). Durante a validação da tecnologia, nos tratamentos com as estirpes mais eficientes de *A. brasilense*, os teores de N mineral no solo (amônio + nitrato) foram menores ao final do ciclo da cultura, indicando maior aproveitamento do N aplicado (Hungria et al., 2010). Esses resultados enfatizam a inoculação do milho com *A. brasilense* como uma ferramenta para aumentar a eficiência do sistema de produção de milho.

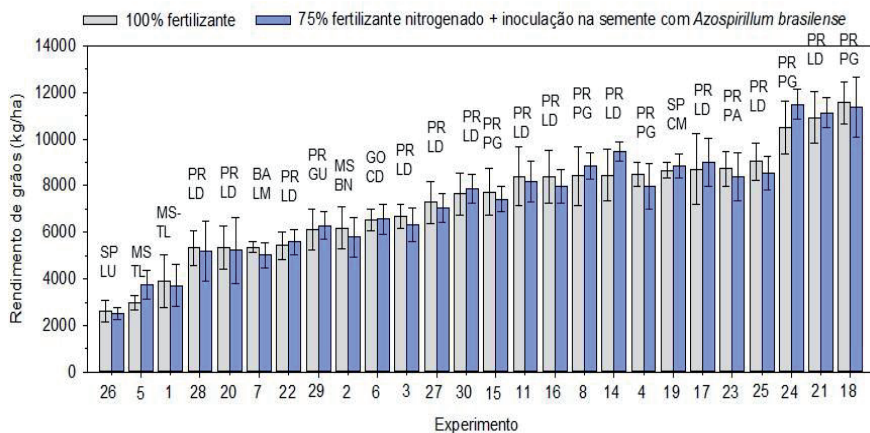


Figura 4. Produtividade de grãos de milho em 26 experimentos recebendo 24 kg ha⁻¹ de N na semeadura e 100% da adubação nitrogenada de cobertura (90 kg ha⁻¹ como ureia) ou 75% da dose e inoculado com *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 em SP, MS, BA, GO e PR. Locais: LU, Lutécia; TL, Três Lagoas; LD, Londrina;

LM, Luís Eduardo Magalhães; GU, Guapirama; BN, Bonito; CD, Cachoeira Dourada; PG, Ponta Grossa; CM, Cândido Mota (Hungria e Nogueira, 2022).

Além dos benefícios nutricionais, Fukami et al. (2017) observaram que a inoculação de *A. brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 ou seus metabólitos via foliar elicitou a expressão de genes relacionados à tolerância a estresses oxidativos e genes relacionados à defesa do milho contra patógenos. Ainda não há resultados de pesquisas consolidados sobre quanto a inoculação com *Azospirillum* pode contribuir para a tolerância de milho a patógenos, mas abre perspectivas para seu uso em estratégias integradas de manejo da cultura. Aumentar a eficiência de uso de recursos é uma estratégia fundamental para aumentar a lucratividade e a sustentabilidade econômica e ambiental do sistema de produção, e a inoculação com *Azospirillum brasilense* tem se mostrado uma ferramenta em consolidação como insumo para a produção de milho.

Rhizobium

Encontrados abundantemente em solos tropicais, as bactérias conhecidas principalmente por estabelecer simbiose com diversas leguminosas nodulantes são genericamente denominadas rizóbios (Ormeño-Orrillo et al., 2012). Predominantemente utilizadas como inoculantes na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), as espécies *Rhizobium tropici* CIAT 899 e *Rhizobium freireii* PRF81 são as mais estáveis geneticamente e eficientes em realizar fixação biológica de nitrogênio, trazendo

grandes benefícios à cultura.

São bactérias Gram-negativas, com 0,5-0,9 μm de diâmetro e 1,2-3,0 μm de comprimento, em forma de bastonetes móveis (Humann e Kahn, 2015). Possuem crescimento rápido em meio de cultura e temperatura ótima entre 25 a 42 °C e pH de 4 a 9. Realizam a fixação biológica de nitrogênio em simbiose, tornando-se pleomórficas, ou seja, sofrem alterações morfológicas e fisiológicas, sendo denominadas bacterióide, que ficam abrigados nos simbiossomas nas células infectadas dos nódulos (Datta et al., 2014).

Apesar de serem comercialmente utilizadas em inoculantes para leguminosas, estas bactérias também podem trazer benefícios para não-leguminosas, pois possuem outros mecanismos de promoção de crescimento, além da capacidade de fixar nitrogênio, como solubilização de nutrientes e produção de fitormônios (García-Fraile et al., 2012). O gênero *Rhizobium* é produtor de lipo-quitto-oligossacarídeos (LQO) (fator Nod), um metabólito secundário que atua diretamente na colonização da bactéria nas raízes e na divisão celular do córtex da planta hospedeira (Dardanelli et al., 2008). Há relatos de que este metabólito pode estar ligado à promoção de crescimento de não leguminosas, mimetizando efeitos de fitormônios, como auxinas e citocininas (Smith et al., 2015).

Estudos conduzidos por Marks et al. (2013; 2015) demonstraram que a aplicação de LQOs de *Rhizobium* combinados com a inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho tem potencial biotecnológico, sendo observados incrementos

significativos no crescimento das plantas tratadas com esta combinação (Figura 5). Outros autores também atestaram a eficiência dos rizóbios no aumento da produtividade de culturas não-leguminosas (Palmero et al., 2011; Hahn et al., 2013; Osorio Filho et al., 2016). Dartora et al. (2016) demonstraram que a inoculação de uma estirpe de *Rhizobium* sp. associada a 30 kg ha⁻¹ de N na cultura do milho foi equivalente à fertilização com 160 kg ha⁻¹ do nutriente no tratamento sem inoculação.

Apesar do potencial biotecnológico, não há ainda produtos comerciais à base de rizóbios para a cultura do milho. Entretanto, a busca pela combinação de microrganismos e/ou seus metabólitos pode contribuir para resultar, em um futuro próximo, em novos inoculantes com diferenciais, como o aumento da eficiência da promoção de crescimento combinados a outros microrganismos, como o *Azospirillum*, por exemplo.

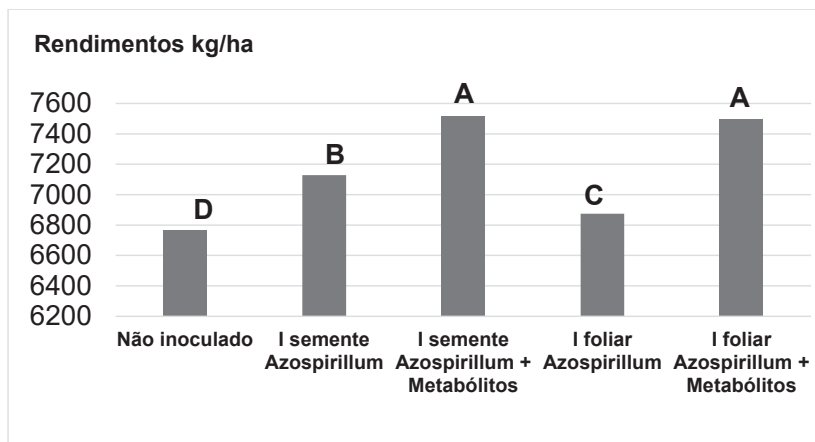


Figura 5. Média de seis ensaios a campo, em duas safras, da produtividade de milho inoculado (I) com *Azospirillum brasilense*, acrescido ou não de metabólitos secundários (lipoquito-oligossacarídeos) de *Rhizobium tropici*, via sementes ou via foliar. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% (Adaptado de Marks et al., 2015).

Pseudomonas

Este gênero é comumente encontrado em solos, água e especialmente na rizosfera das plantas, possuindo diversas características que podem classificá-lo como BPCP, sendo que as estirpes com maior potencial são as fluorescentes (Bossis et al., 2000). Várias pesquisas têm sido conduzidas globalmente para explorar o potencial destas bactérias na agricultura (Sivasakthi et al., 2014). São bastonetes Gram-negativos com motilidade por flagelos, a maioria capaz de produzir pigmento fluorescente (piocianina). Embora aeróbia obrigatória, é capaz de utilizar o nitrato como aceptor final de elétrons na respiração

celular em baixas concentrações de oxigênio, processo chamado de respiração anaeróbica. Seu crescimento ótimo se dá a temperaturas entre 25-30 °C (Scales et al., 2014).

A promoção de crescimento de plantas atribuída à inoculação da espécie *Pseudomonas fluorescens* não necessariamente está ligada somente a mecanismos que auxiliam diretamente no desenvolvimento da cultura, mas também de formas indiretas, como o biocontrole de fitopatógenos (Ganeshan e Kumar, 2005; Sivasakthi et al., 2014). Este microrganismo é capaz de produzir compostos que auxiliam na proteção contra possíveis patógenos, como os sideróforos, que possuem alta afinidade com o ferro, causando a escassez do mesmo na rizosfera, assim limitando a capacidade de fungos fitopatogênicos se proliferarem naquele ambiente (Das et al., 2007).

Além da ação de biocontrole, *P. fluorescens* pode auxiliar no crescimento de plantas pela produção de compostos indólicos, como o AIA, ligado à divisão e alongamento celular (David et al., 2018). Estas bactérias também podem mobilizar fosfatos inorgânicos de baixa solubilidade da matriz mineral do solo, aumentando a disponibilidade de P para a absorção pelas plantas (Lyu et al., 2016). Este mecanismo de ação ocorre pela liberação de ácidos orgânicos, que são compostos de baixo peso molecular, que quelam cátions ligados às moléculas de P, convertendo-as em formas solúveis (Archana et al., 2012). Este processo de liberação de ácidos orgânicos também promove a acidificação local do solo, auxiliando na liberação de P de

complexos de cálcio de baixa solubilidade (Mendes et al., 2014; Li et al., 2015).

Em estudo conduzido por Sandini et al. (2019), os efeitos atribuídos a *P. fluorescens* estirpe CNPSO 2719 resultaram em ganhos em produtividade do milho entre 29 e 31% comparados com as plantas do tratamento não inoculado (Tabela 1). A promoção de crescimento e o aumento no rendimento foram equivalentes à aplicação de 100% da dose recomendada do fertilizante nitrogenado em cobertura, mesmo quando a dose do fertilizante foi reduzida em 25% nos tratamentos inoculados, sem comprometer o rendimento.

Tabela 1. Produtividade de milho (kg ha^{-1}) em cinco locais em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* estirpes Ab-V5 e Ab-V6 (Azo) ou *Pseudomonas fluorescens* estirpe CNPSo 2719 (Pseudo) combinados com a aplicação de 75% da dose de fertilizante nitrogenado (ureia) em cobertura e os controles sem (-N) e com 100% da dose de N em cobertura (90 kg ha^{-1}) aplicada em V4, todos recebendo 24 kg ha^{-1} de N na semeadura.

Tratamento	Localidades					
	Cacheoeira Dourada	Palmas	Ponta Grossa	Londrina	Guarapuava I	Guarapuava II
- N	5.427 b	7.294 b	5.972 c	7.680 c	8.861 b	11.483 b
100% N	6.513 ab	8.420 a	7.723 b	8.711 b	12.710 a	13.215 a
Azo 75% N	6.658 ab	8.850 a	7.230 b	9.020 b	12.636 a	13.050 a
Pseudo 75% N	6.831 a	9.115 a	8.306 a	9.760 a	12.913 a	13.321 a

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% (Adaptado de Sandini et al., 2019).

Bacillus

O gênero *Bacillus* compreende bactérias Gram-positivas que são amplamente encontradas na natureza, sendo isoladas de ambientes diversos como solo, água doce, água salgada, plantas, animais e do ar (Pignatelli et al., 2009). Esses microrganismos têm uma grande diversidade fenotípica, sendo capazes de tolerar ambientes com altas temperaturas e extremos de salinidade e acidez (Maughan et al., 2011), além de produtos químicos, o que é atribuído à sua capacidade de formar endósporos (Bahadir et

al., 2018).

Estirpes do gênero *Bacillus* empregadas na agricultura podem proporcionar efeitos diretos na promoção de crescimento das plantas, pela produção de fitormônios (Wahyudi et al., 2011; Mohite, 2013), aumentando a capacidade de absorção de nutrientes e água pelo estímulo ao sistema radicial da planta (Gupta et al., 2015; Ribeiro et al., 2018) e produção de sideróforos, auxiliando no biocontrole de fitopatógenos (Shafi et al., 2017; Bjelić et al., 2018).

Além dos mecanismos já citados, a capacidade de solubilização de fosfatos (Wahyudi et al., 2011; Bahadir et al., 2018) pode ser considerada uma importante via de auxílio no desenvolvimento das plantas. Resultados obtidos por Ribeiro et al. (2018) com estirpes de *B. subtilis* B1920, B2084, B2088 e *B. pumilus* B1923 indicaram capacidade de mobilizar P de fontes de baixa solubilidade para formas acessíveis às plantas.

De Sousa et al. (2021) confirmaram os efeitos positivos da inoculação de estirpes de *Bacillus* sp. na cultura do milho. Houve aumento de biomassa aérea, de superfície das raízes, teor de nutrientes na parte aérea, além de incremento de produtividade de grãos em 21% e acúmulo de P nos grãos em 58%, atribuindo os resultados à produção de AIA e solubilização de fosfato.

A equipe da Embrapa Milho e Sorgo vem pesquisando e selecionando microrganismos mobilizadores de fosfato há quase 20 anos (Oliveira et al., 2009, 2020; Velloso et al., 2020), o que resultou em um produto comercial com a combinação das estirpes *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS

B119). Os resultados apontam ganho médio de produtividade de 8,9% do milho em experimentos realizados em vários estados do Brasil (Oliveira et al., 2020).

Sousa et al. (2023) identificaram que a inoculação de *Bacillus aryabhatai* auxiliou na redução dos efeitos negativos do estresse salino e melhorou a capacidade de troca gasosa das folhas do milho, aumentando a taxa de assimilação de CO₂, a abertura dos estômatos e a concentração interna de CO₂. Em geral, a inoculação atenuou os impactos do estresse salino, resultando em aumento da área foliar e na altura das plantas, mesmo na ausência de estresse. Essas descobertas sustentam a ideia de que a inoculação do *B. aryabhatai* auxilia na mitigação dos efeitos do estresse causado por fatores abióticos, como o estresse salino e hídrico, nas plantas de milho, tornando-a uma opção viável em áreas sujeitas à restrição hídrica.

Registro de inoculantes no Brasil

Do ponto de vista agrícola, inoculante pode ser definido como um meio que traz em sua matriz células vivas de microrganismos ou propágulos que venham a desempenhar alguma função específica benéfica nas plantas. No Brasil, a grande maioria dos inoculantes é produzido com BPCP, seja para a fixação biológica do nitrogênio, como os rizóbios, seja por meio da ação de fitormônios, dentre outros mecanismos, como o *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus*. Entretanto, inoculantes à base de fungos micorrízicos arbusculares também já estão disponíveis no mercado. Quanto à característica física, podem ser de natureza líquida (fluida) ou sólida (à base de turfa), sendo

que a maioria dos fabricantes os apresentam na formulação líquida.

O Brasil tem uma das mais avançadas legislações quanto ao controle de qualidade de inoculantes microbianos. Isso é resultante da integração entre os órgãos reguladores (Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA), a indústria e a comunidade científica por meio da Reunião da Rede de Laboratórios para a Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola (RELARE), criada em 1985. Desde então, pesquisadores, representantes das indústrias e do MAPA têm se reunido periodicamente para discutir temas relativos aos inoculantes microbianos. Novos produtos e tecnologias de inoculação precisam ser discutidos e aprovados nos fóruns da RELARE, o que aumenta a segurança de uso de microrganismos benéficos em prol da agricultura brasileira. Todos os protocolos que constam nas instruções normativas do MAPA relativos aos inoculantes foram elaborados, discutidos e aprovados nos fóruns da RELARE (RELARE, 2016).

Todos os inoculantes produzidos, importados e comercializados no território nacional precisam ser registrados no órgão competente do MAPA. Isso assegura que o produto tenha cumprido uma série de exigências legais para a obtenção do registro, incluindo controle de qualidade quanto à concentração mínima de células, que deve ser de 10^9 para bactérias fixadoras de nitrogênio para simbiose com leguminosas ou o que garantir o fabricante no prazo de validade para os demais inoculantes,

além de pureza (ausência de contaminantes na diluição 10^{-5}), a garantia da identidade da cepa utilizada, e, quando for o caso, passar por testes de eficiência agrônômica. Todos os inoculantes no mercado brasileiro estão sujeitos a fiscalizações do MAPA e podem vir a perder seus registros e serem retirados do mercado em caso de inconformidades. As etapas de registro de um inoculante junto ao MAPA precisam seguir o estabelecido nas instruções normativas (IN) nº 13 de 24 de março de 2011 e seus anexos (Brasil, 2011) e nº 30 de 22 de novembro de 2010 (Brasil, 2010), além de outras legislações pertinentes. A primeira estabelece normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos microrganismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil (Brasil, 2011). Já a segunda estabelece os métodos oficiais padronizados para análise de inoculantes, sua contagem, identificação e análise de pureza (Brasil, 2010). A IN 13 estabelece que os inoculantes produzidos com microrganismos “autorizados” relacionados no seu Anexo II, como é o caso dos rizóbios em geral, não precisam passar por testes de eficiência agrônômica, a não ser que haja mudanças na tecnologia de inoculação desses microrganismos. Quando o inoculante é elaborado com microrganismos “recomendados” relacionados no Anexo III da referida IN, como é o caso do *Azospirillum*, ou que não constem no anexo, no caso de novos microrganismos, precisam passar por testes de eficiência agrônômica por instituições oficiais de pesquisa que atestem a viabilidade e a eficiência de seu uso agrícola por

meio de um relatório técnico conclusivo referente aos ensaios. Testes complementares quanto à inocuidade à saúde humana e animal e à sanidade vegetal poderão ser exigidos. Os ensaios de campo devem ser conduzidos em, no mínimo, dois locais com condições edafoclimáticas distintas, por no mínimo duas safras ou, pelo menos em quatro locais em condições edafoclimáticas distintas em uma única safra, em locais tecnicamente adequados e representativos da cultura.

Como evidenciado, os inoculantes registrados no Brasil obedecem a normas de controle de qualidade e comprovação de sua eficiência agrônômica quando necessário. Isso contribui para assegurar que o agricultor brasileiro tenha à sua disposição tecnologias com comprovada eficiência. Por essa razão, um dos cuidados básicos para a aquisição de um inoculante é verificar no rótulo do produto o número de registro junto ao MAPA para a finalidade e a cultura à qual se destina, além da data de validade e condições de armazenamento. A Tabela 2 apresenta os inoculantes registrados para a cultura do milho no Brasil que constam no aplicativo Bioinsumos (Embrapa, 2020). Nota-se que, embora a maioria seja baseada em BPCP, principalmente *A. brasilense*, também já estão disponíveis inoculantes à base de fungos micorrízicos arbusculares.

A formulação líquida é muitas vezes preferida pelo agricultor devido à facilidade de aplicação e é a predominante no mercado nacional de inoculantes (conforme representação da concentração “/g” ou “/mL”, para inoculante turfoso e líquido, respectivamente, na Tabela 2). Por outro lado, o

Tabela 2. Inoculantes registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária, com produtos comerciais disponíveis no mercado para uso na cultura do milho no Brasil com base no aplicativo Bioinsumos (Embrapa, 2020).

Empresa	Espécie	Estirpe	Concentração	Registro MAPA
Agrocete	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0006815 5
Andermatt	<i>B. amyloloque-faciens</i>	FZB45	2,5x10 ¹⁰ UFC/mL	PR0017680 1
Bioma	<i>B. subtilis</i> ; <i>B. megaterium</i>	BRM 2084 e BRM 119	4x10 ⁹ UFC/mL	PQ0004979 63
Brasilquímica	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	5x10 ⁸ UFC/mL	SP0038610 158
Fertbio	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0011428 13
Fertbio	<i>P. fluorescens</i>	ATCC 13525	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0011428 15
Forbio	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL ou g	PR0023604 10/11
Forbio	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	3x10 ⁸ UFC/mL	PR0023604 16
Geo Clean	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	SP0040487 35
Hs2m	<i>R. intraradices</i>	-	20,8 Propág./g	SC0016209 1
Hs2m	<i>R. intraradices</i>	-	167 Propág./g	SC0016209 2
Indigo	<i>B. simplex</i>	-	1x10 ⁷ UFC/mL	SP0046272 1
Innova	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	1x10 ⁸ UFC/mL	PR0013714 90
Lallemmand	<i>A. brasilense</i>	⁽¹⁾ Az39	5x10 ⁸ UFC/mL	SP0028711 10
Nitro1000	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0025445 15
Nodusoja	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0007137 1
Nooa	<i>B. aryabhattai</i>	CMAA 1363	1x10 ⁸ UFC/mL	MG0007579 3
Rizobacter	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0016225 18
Simbiose	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	5x10 ⁸ UFC/mL	RS0034010 33
Stoller	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL ou g	SP0037184 82/83
Symborg	<i>M. symbioticum</i>	⁽¹⁾ SB23	3x10 ⁷ UFC/g	SP0054798 3
Total biotecnologia	<i>A. brasilense</i> ; <i>P. fluorescens</i>	Ab-V6; CCTB03	1x10 ⁸ UFC/mL	PR0015938 1
Total biotecnologia	<i>amyloliquefaci-ens</i> ; <i>B. subtilis</i> ; <i>B. pumilus</i>	CCTB04; CCTB09; CCTB05	1x10 ⁸ UFC/mL	PR0015938 12
Total biotecnologia	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	PR0015938 16
Total biotecnologia	<i>P. fluorescens</i>	CNPSO 2719	1x10 ⁸ UFC/mL	PR0015938 24
Total biotecnologia	<i>B. licheniformis</i>	CCTB07	1x10 ⁸ UFC/mL	PR0015938 64
Tradecrop	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	SP0026778 43
Vittia	<i>A. brasilense</i>	⁽²⁾ Ab-V5	2x10 ⁸ UFC/mL	SP0029734 19
Solubio	<i>A. brasilense</i>	Ab-V5 e Ab-V6	2x10 ⁸ UFC/mL	TO0004847 2

⁽¹⁾Registro para uso em aplicação foliar; ⁽²⁾ Registro para inoculação nas sementes e foliar. Consulta às páginas das empresas na internet em 06/11/2023.

inoculante turfoso apresenta robustez quanto à proteção das células bacterianas, dentro de certos limites, frente a condições estressantes, como ressecamento, exposição a químicos e ocorrência de temperatura elevada. Entretanto, a pesquisa e as indústrias têm desenvolvido inoculantes em formulação líquida que trazem, na formulação ou separadamente, aditivos protetores celulares, visando aumentar a sobrevivência das células frente a condições adversas. Dentre os fatores adversos, as células dos microrganismos podem sofrer efeito negativo de agentes químicos, principalmente fungicidas e inseticidas, usados no tratamento de sementes (Puentes et al., 2008), que podem comprometer a sobrevivência, e conseqüentemente o efeito desses microrganismos benéficos não alvo (Yang et al., 2011; Santos et al., 2021). Visando superar esse problema, novas formulações e métodos de inoculação têm sido desenvolvidos. Dentre eles, a inoculação via foliar tem sido testada, inclusive com produtos comerciais já registrados para essa modalidade de aplicação (Tabela 2). Trabalhos realizados por Fukami et al. (2017) indicaram que embora a sobrevivência de *Azospirillum* aplicado via foliar em milho seja baixa após 24 h, a planta pode responder positivamente à esta modalidade de inoculação (Fukami et al., 2016). Nesse caso, atribui-se que o efeito seja consequência dos fitormônios e/ou outros metabólitos presentes na formulação que podem desencadear a expressão de vários genes da planta relacionados a respostas a estresses oxidativos e proteção contra patógenos (Fukami et al., 2017). Entretanto, a forma de aplicação do inoculante deve seguir a recomendação

do fabricante, pois qualquer mudança de recomendação de forma de uso precisa passar por testes de eficiência agrônômica e obter novo registro junto ao MAPA, para aquela finalidade, conforme a legislação (Brasil, 2011).

O uso de *Azospirillum* na inoculação de gramíneas, principalmente milho e trigo, vem aumentando consideravelmente no Brasil desde que a tecnologia foi lançada (Hungria e Nogueira, 2016). Em 2009, com o registro do primeiro inoculante à base de *Azospirillum* no mercado brasileiro, foram comercializadas pouco mais de 400 mil doses, tendo saltado para cerca de 22,5 milhões de doses em 2022 (ANPII, 2023). Entretanto, também vem aumentando o uso de inoculantes à base de outros microrganismos, como *Pseudomonas*, *Bacillus* e fungos micorrízicos arbusculares e novos microrganismos deverão brevemente ser comercializados em novos produtos. Entretanto, é sempre importante observar que o produto tenha registro no MAPA na modalidade “inoculante” e conforme sua modalidade de aplicação.

Portanto, para que os benefícios com o uso de inoculantes sejam alcançados, sua qualidade é fundamental. Aspectos como a concentração, pureza e identidade de estirpes são requisitos básicos para o uso desses bioinsumos no sistema de produção. Iniciativas de produção na fazenda, conhecidas como produção *on farm*, geralmente são realizadas em condições precárias, o que resulta em altos índices de contaminação e ausência do(s) microrganismo(s) alvo(s) (Bocatti et al., 2023).

Considerações finais

A utilização de microrganismos promotores de crescimento de plantas, como *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho oferece uma alternativa promissora para impulsionar a produtividade de forma sustentável e aumentar a eficiência de uso de fertilizantes químicos. Esses microrganismos desempenham papel crucial na promoção do crescimento das plantas por meio de mecanismos como a fixação biológica de nitrogênio, produção de fitormônios, solubilização de nutrientes, mitigação de estresses abióticos e controle biológico.

No entanto, o sucesso da aplicação desses microrganismos requer um entendimento mais profundo de suas interações, práticas de manejo adequadas e pesquisa contínua para identificar estirpes microbianas mais eficientes e, quando possível, com múltiplas funções, e otimizar formulações e protetores celulares para aumentar o desempenho desses bioinsumos após sua aplicação. A integração dessas abordagens com outras práticas sustentáveis, como cobertura do solo, diversificação de culturas e conservação do solo, é fundamental para enfrentar os desafios da agricultura moderna mais eficiente e preservar o ambiente de produção. A regulamentação e o controle de qualidade dos inoculantes microbianos no Brasil desempenham um papel essencial para garantir a eficácia desses produtos agrícolas, graças à colaboração entre órgãos reguladores, indústria e comunidade científica. Isso garante que os agricultores tenham acesso a tecnologias de inoculação comprovadamente eficazes,

promovendo a agricultura sustentável e produtiva no país.

Os requisitos de registro e controle de qualidade estabelecidos pelo MAPA garantem que os inoculantes cumpram critérios rigorosos de identidade de estirpes, concentração de células e pureza, proporcionando segurança aos agricultores. Além disso, a pesquisa e a indústria continuam a inovar, desenvolvendo formulações e abordagens alternativas de inoculação, que podem se tornar ferramentas importantes para aprimorar o desempenho das culturas. A crescente aceitação dessas tecnologias reflete a importância da pesquisa contínua e a inovação no setor de inoculantes, alinhando-se com a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

Agradecimentos

Ao INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Microrganismos Promotores de Crescimento de Plantas para a Sustentabilidade Agrícola e Responsabilidade Ambiental (CNPq 465133/2014-4, Fundação Araucária-STI 043/2019, CAPES). Os autores agradecem o apoio financeiro de FNDCT/CT- AGRO/FINEP (Convênio 01.22.0080.00, Ref. 1219/21). Marco A. Nogueira e Mariangela Hungria são bolsistas de produtividade em pesquisa do CNPq. Aghata C. R. Charnobay é bolsista de doutorado da CAPES processo 001. Revisado pelo Comitê Local de Publicações, da Embrapa Soja, sob número 003/2024.

Referências bibliográficas

ALVES, M. V.; NESI, C. N.; NAIBO, G.; BARRETA, M. H.; LAZZARI, M.; JÚNIOR, A. F.; SKORONSKI, E. Corn seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in different nitrogen fertilization management. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.15, n.3, p.1-6, 2020.

ANGHINONI, G.; ANGHINONI, F.B.G.; TORMENA, C.A.; BRACCINI, A.L.; MENDES, I.C.; ZANCANARO, L.; LAL, R. Conservation agriculture strengthen sustainability of Brazilian grain production and food security. *Land Use Policy*, v. 108, p.105591, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105591>

ANPII - Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (2023). *Análise e Estatísticas 2022*. Disponível em: <https://www.anpii.org.br/estatisticas/>. Acesso em 26 dez. 2023.

ARCHANA, G.; BUCH, A.; KUMAR, G. Pivotal role of organic acid secretion by rhizobacteria in plant growth promotion. In: SATYANARAYANA, T., JOHRI, B.N., ANIL P. (Eds.). *Microorganisms in sustainable agriculture and biotechnology*. Dordrecht: Springer, 2012, p. 35-53.

BAHADIR, P.S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing bacillus species isolated from the aegean region of Turkey. *Turkish Journal of Botany*, v.42, n.2, p.183-196, 2018.

BELL, T.; NEWMAN, J. A.; SILVERMAN, B. W.; TURNER, S. I. LILEY, A. K. The contribution of species richness and composition to bacterial services. *Nature*. V.436, p.1157-60, 2005.

BINI, D.; MATTOS, B. B.; FIGUEIREDO, J. E. F.; DOSSANTOS, F. C.; MARRIEL, I. E.; DOS SANTOS, C. A.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Parameter evaluation for developing phosphate-solubilizing *Bacillus* inoculants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2023. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01182-0>

BINI, D.; SANTOS, C. A.; BERNAL, L. T. P.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M. A. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Ultisol under different tillage and uses in winter, *Applied Soil Ecology*, v.76, p. 95-101, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.12.015>

BJELIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; TINTOR, B.; MRKOVAČKI, N. Antifungal and plant growth promoting activities of indigenous rhizobacteria isolated from maize (*Zea mays* L.) rhizosphere. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.49, n.1, p.88-98, 2018.

BOCATTI, C. R.; FERREIRA, E.; RIBEIRO, R. A.; CHUEIRE, L. M. O.; DELAMUTA, J. R. M.; KOBAYASHI, R. K. T.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Microbiological quality analysis of inoculants based on *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* produced “on farm” reveals high contamination with non-target microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.53, p.267-280, 2022. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00649-2>

BOSSIS, E.; LEMANCEAU, P.; LATOUR, X.; GARDAN, L. The taxonomy of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*: current status and need for revision. *Agronomie, EDP Sciences*, v.20, n.1, p.51-63, 2000.

BOUKERMA, L.; BENCHABANE, A.C.; KHELIFI, L. Activity of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) in the biocontrol of tomato fusarium wilt. *Plant Protection Science Agricultural Journals*, v.53, n.2, p.78-84, 2017. Doi: 10.17221/178/2015-PPS.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 30, de 12/11/2010. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/>>. Acesso em 13 jun. 2011.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 13, de 24/03/20011. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/>>. Acesso em 13 jun. 2011.

BÜNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, v.120, p.105–125, 2018.

CALZAVARA, A.K.; PAIVA, P.H.G.; GABRIEL, L.C.; OLIVEIRA, A.L.M.; MILANI, K.; OLIVEIRA, H.C.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A.; OLIVEIRA, M.C.N.; DIAS-PEREIRA, J.; STOLF-MOREIRA, R. Associative bacteria influence maize (*Zea mays* L.) growth, physiology and root anatomy under different nitrogen levels. *Plant Biology*, v.20, p.870-878, 2018. <https://doi.org/10.1111/plb.12841>

CARDOSO, E.J.B.N.; VASCONCELLOS, R.L.F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M.Y.H.; SANTOS, C.A.; ALVES, P.R.L.; PAULA, A.M.; NAKATANI, A.S.; PEREIRA, J.M.; NOGUEIRA, M.A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, v.70, p.280-295, 2013.

CASSÁN F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*, v.103, p. 117-130, 2016. doi:10.1016/j.soilbio.2016.08.020

CASSÁN, F.D., OKON, Y., CREUS, C.M. Handbook for *Azospirillum*. Technical Issues and Protocols. Springer International Publishing, 2015. 514p.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone 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.

CEREZINI, P.; KUWANO, B.H.; DOS SANTOS, M.B.; TERASSI, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. *Field Crops Research*, v.196, p.160-167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.017>

CHARNOBAY, A.C.R.; NASCIMENTO, A.V.C.; FIOR, B.B.; CANELOSSI, B. HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Atividade enzimática do solo sob estratégias de inoculação de soja e consórcio milho-braquiária em sucessão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 38., 2023. Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2023.

CORREA-ARAGUNDE, N.; GRAZIANO, M.; CHEVALIER, C.; LAMATTINA, L. Nitric oxide modulates the expression of cell cycle regulatory genes during lateral root formation in tomato. *Journal of Experimental Botany*, v.57, n.3, p.581-588, 2006.

DAMIAN, J.M.; MATOS, E.S.; PEDREIRA, B.C.; CARVALHO, P.C.F.; DE SOUZA, A.J.; ANDREOTE, F.D.; PREMAZZI, L.M.; CERRI, C.E.P. Pastureland intensification and diversification in Brazil mediate soil bacterial community structure changes and soil C accumulation. *Applied Soil Ecology*, v.160, p.103858, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103858>

DARDANELLI, M.S.; DE CÓRDOBA, F.J.F.; ESPUNY, M.R.; CARVAJAL, M. A.R.; DÍAZ, M.E.S.; SERRANO, A.M.G.; OKON, Y.; MEGÍAS, M. Effect of *Azospirillum brasilense* coinoculated with *Rhizobium* on *Phaseolus vulgaris* flavonoids and nod factor production under salt stress. *Soil Biology and Biochemistry*, v.40, p.2713-2721, 2008.

DARTORA, J.; GUIMARÃES, V.F.; MENEZES, C.R.J. Maize response to inoculation with strains of plant growth-promoting bacteria. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.7, p.606-611, 2016.

DAS, A.; PRASAD, R.; SRIVASTAVA, A.; GIANG, P.H.; BHATNAGAR, K.; VARMA, A. Fungal siderophores: structure, functions and regulations. In: VARMA, A., CHINCHOLKAR, S.B. (Eds.), *Microbial Siderophores*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. p.1-42.

DATTA, A.; SINGH, R.K.; KUMAR, S.; KUMAR, S. An effective and beneficial plant growth promoting soil bacterium "*Rhizobium*": A Review. *Annals of Plant Sciences*, p. 933-942, 2014.

DAVID, B.V.; CHANDRASEHAR, G.; SELVAM, P.N. *Pseudomonas fluorescens*: A plant-growth-promoting rhizobacterium (PGPR) with potential role in biocontrol of pests of crops. In: PRASAD, R.; GILL, S.S.; TUTEJA, N. (Eds.). *Crop Improvement Through Microbial Biotechnology*. Elsevier, 2018. p.221-243.

DE SOUSA, S. M.; DE OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; DE CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, v.40, p.867-877, 2021.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; CONTE, O. Diversificação de espécies vegetais como fundamento para a sustentabilidade da cultura da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60p. (Documentos, 366).

DEN HERDER, G.; VAN ISTERDAEL, G.; BEECKMAN, T.; DE SMET, I. The roots of a new green revolution. *Trends in Plant Science*, v.15, p.600–607, 2010.

DÍAZ-ZORITA, M.; CANIGIA, M.V.F.; BRAVO, A.O.; BERGER, A.; SATORRE, E.H. Field evaluation of extensive crops inoculated with *Azospirillum* sp. In: CASSÁN, F. D., OKON, Y., CREUS, C.M. (Eds.), *Handbook for Azospirillum*. Technical Issues and Protocols. Springer International Publishing, 2015. 514p.

DÍAZ-ZORITA, M.; FERNÁNDEZ-CANIGIA, M. V. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. *European Journal of Soil Biology*, v.45, p.3–11, 2009.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews on Plant Sciences*, v. 22, p.107-149, 2003.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biology and Fertility of Soils*, v.36, p.284–297, 2002.

DORAN, J.W.; ZEISS M.R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, p.3-11, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)

DSMZ – Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH. Prokaryotic nomenclature up to date. 2023. Disponível em: <https://www.dsmz.de/bacterial-diversity/prokaryotic-nomenclature-up-to-date/prokaryotic-nomenclature-up-to-date.html>. Acesso em: 26 dez. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aplicativo Bioinsumos. 2020. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7227/aplicativo-bioinsumos>. Acesso em: 06 nov. 2023.

FIERER, N.; WOOD, S.A.; DE MESQUITA, C.P.B. How microbes can, and cannot, be used to assess soil health, *Soil Biology and Biochemistry*, v.153, p.108111, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108111>

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T.S.; SOARES-JUNIOR, D.; DE MELO; FRIEDRICH, T.R.T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.208, p.104877, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>.

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, v.6, n.1, 2016.

FUKAMI, J.; OLLERO, F.J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, v.7, n.1, p.1-13, 2017.

GALINDO, F.S.; RODRIGUES, W.L.; FERNANDES, G.C.; BOLETA, E.H.M.; JALAL, A.; ROSA, P.A.L.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under Brazilian savannah conditions. *European Journal of Agronomy*, v.134, p.126471, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126471>

GANESHAN, G.; KUMAR, A.M. *Pseudomonas fluorescens*, a potential bacterial antagonist to control plant diseases. *Journal of Plant Interactions*, v.1, n.3, p.123-134, 2005.

GARCÍA-FRAILE, P.; CARRO, L.; ROBLEDO, M.; RAMÍREZ-BAHENA, M.H.; FLORES-FÉLIX, J.D.; FERNÁNDEZ, M.T.; MATEOS, P.F.; RIVAS, R.; IGUAL, J. M.; MARTÍNEZ-MOLINA, E.; ÁLVARO PEIX, A.; VELÁZQUEZ, E. *Rhizobium* promotes non-legumes growth and quality in several production steps: Towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans. *PLoS One*, v.7, n.5, p. e38122, 2012.

GEWIN, V. An underground revolution. *Nature*, v.466, p.552–553, 2010.

GLICK, B.R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica (Cairo)*, v.2012, p.963401, 2012.

GRABOWSKI, R.; SELF, S. Role of agricultural productivity growth in economic development: the neglected impact on institutional quality in Africa. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, v.19, n.2, p.681-700, 2022.

GUPTA, G.; PARIHAR, S.S.; AHIRWAR, N.K.; SNEHI, S.K.; SINGH, V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, v.7, n.2, p.96-102, 2015.

HAHN, L.; DE SÁ, E.L.S.; DA SILVA, W.R.; MACHADO, R.G. Promoção de crescimento de híbridos de milho inoculados com rizóbios e bactérias diazotróficas associativas. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.19, n.1/2, p.33-40, 2013.

HARDOIM, P.R.; VAN OVERBEEK, L.S.; VAN ELSAS, J.D. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends in Microbiology*, v.16, p.463-471, 2008.

HARTMANN, M.; SIX, J. Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth and Environment*, v.4, p.4-18, 2023. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00366-w>

HUMANN, J.; KAHN, M. Genes involved in desiccation resistance of rhizobia and other bacteria. In: DE BRUJIN, F. J. (Ed.). *Biological Nitrogen Fixation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2015. p.297-404.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: Inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36p. (Documentos, 325).

HUNGRIA, M.; BARBOSA, J.Z.; RONDINA, A.B.L.; NOGUEIRA, M.A. Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, v.114, n.5, p.2969-2980, 2022.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; SOUZA, E.M.; PEDROSA, F.O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. *Plant and Soil*, v.331, p.413-425, 2010.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Inoculação do milho com as estirpes Ab-V5 e Ab-V6 DE *Azospirillum brasilense*: redução na adubação nitrogenada de cobertura e mitigação na emissão de gases de efeito estufa. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 36p. (Documentos, 450).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Microrganismos e a sustentabilidade de sistemas agrícolas de alta produtividade. In: FERTBIO 2016 “Rumo aos Novos Desafios”. Anais Goiânia: Embrapa/UFG, 2016.

JOFRÉ, E.; PRÍNCIPE, A.; CASTRO, M.; FISCHER, S.; LAGARES, A.; MORI, G. Molecular aspects of the polysaccharide production in *Azospirillum brasilense* and its role in the establishment of the *Azospirillum*-plant association. In: CASSÁN, F.D.; SALOMONE, I.G. (Eds.). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación

Argentina de Microbiologia, 2008. p.113-129.

KUZYAKOV, Y.; RAZAVI, B.S. Rhizosphere size and shape: temporal dynamics and spatial stationarity. *Soil Biology and Biochemistry*, v.135, p.343-360, 2019.

LAMBAIS, M.R.; CURY, J.D.C.; MALUCHE-BARETTA, C.R.; BÜLL, R.D. Diversidade Microbiana nos Solos: Definindo Novos Paradigmas. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.4, p.42-84, 2005.

LI, X.; LUO, L.; YANG, J.; LI, B.; YUAN, H. Mechanisms for solubilization of various insoluble phosphates and activation of immobilized phosphates in different soils by an efficient and salinity-tolerant *Aspergillus niger* strain An2. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v.175, n.5, p.2755-2768, 2015.

LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; REIS JUNIOR, F.B.; GOEDERT W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, v.77, p.461-72, 2013.

LWIN, K.M.; MYINT, M.M.; TAR, T.; AUNG, W.Z. Isolation of plant hormone (Indole-3-Acetic Acid-IAA) producing rhizobacteria and study on their effects on maize seedling. *Engineering Journal*, v.16, p.137-144, 2012.

LYU, Y.; TANG, H.; LI, H.; ZHANG, F.; RENGEL, Z.; WHALLEY, W.R.; SHEN, J. Major crop species show differential balance between root morphological and physiological responses to variable phosphorus supply. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v.7, p.1939-1939, 2016.

MARKS, B.B.; MEGÍAS, M.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Biotechnological potential of rhizobial metabolites to enhance the performance of *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* inoculants with soybean and maize. *AMB Express*, v.3, n.1, p.1-21, 2013.

MARKS, B.B.; MEGIAS, M.; OLLERO, F.J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. Maize Growth promotion by inoculation with *Azospirillum brasilense* and metabolites of *Rhizobium tropici* enriched on lipo-chitoooligosaccharides (LCOs). *AMB Express*, v.5, n.1, p.1-11, 2015.

MARTINS, M.R.; JANTALIA, C.P.; REIS, V.M.; DOWICH, I.; POLIDORO, J.C.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*, v.422, n.1, p.239-250, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>

MAUGHAN, H.; VAN DER AUWERA, G. *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Infection, Genetics, and Evolution*, v.11, n.5, p.789-797, 2011.

MCARTHUR, J.W.; MCCORD, G.C. Fertilizing growth: agricultural inputs and their effects on economic development. *Journal of Development Economics*, v.127, p.133–152, 2017.

MENDES, G.O.; DE FREITAS, A.L. M.; PEREIRA, O.L.; DA SILVA, I.R.; VASSILEV, N.B.; COSTA, M.D. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. *Annals of Microbiology*, v.64, n.1, p.239–249, 2014.

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; DANTAS, O.D.; LOPES, A.A.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; OLIVEIRA, M.I.; CHAER, G.M. Soil quality and grain yield: A win-win combination in clayey tropical Oxisols. *Geoderma*, v.388, p.114880, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114880>

MENDES, I.C.; SOUSA, D.M.G.; REIS JUNIOR, F.B.; LOPES, A.A.C.; SOUZA, L.M.; CHAER, G.M. Bioanálise do solo: Aspectos teóricos e práticos. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.10, p.1-64, 2019a.

MENDES, I.C.; SOUZA, L.M.; SOUSA, D.M.G.; LOPES, A.A.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; LACERDA, M.P.C.; MALAQUIAS, J.V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. *Applied Soil Ecology*, v.139, p.85–93, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>

MOHITE, B. Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v.13, n.3, p.638-649, 2013.

MONDAL, S.; CHAKRABORTY, D.; BANDYOPADHYAY, K.; AGGARWAL, P.; RANA, D.S. A global analysis of the impact of zero tillage on soil physical condition, organic carbon content, and plant root response. *Land Degradation and Development*, v.31, p.557-567, 2020. <https://doi.org/10.1002/ldr.3470>

NEILL, C.; GIGNOUX, J. Soil organic matter decomposition driven by microbial growth: a simple model for a complex network of interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, v.38, n.4, p.803-811, 2006.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I.; MARRÉ, J.; MIELNICZUK, J. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2736-2744, 2008.

NONAKA, A.H.; YAMAMOTO, N.; KAMIYA, H.; KOTANI, H.; YAMAKAWA, R.; TSUJIMOTO, Y.; FUJITA, T. Accessory proteins of the nitrogenase assembly, NifW, NifX/NafY, and NifZ, are essential for diazotrophic growth in the non heterocystous cyanobacterium *Leptolyngbya boryana*. *Frontiers in Microbiology*, v.10, p.495, 2019.

NUNES, M.R.; KARLEN, D.L.; VEUM, K.S.; MOORMAN, T.B.; CAMBARDELLA, C.A. Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, v.369, p.114335, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114335>

OLIVEIRA, C.A.; ALVES, V.M.C.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N.P.; GUIMARÃES, C.T.; SCHAFFERT, R.E.; SÁ, N.M.H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an Oxisol of the Brazilian Cerrado biome. *Soil Biology and Biochemistry*, v.41, p.1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, C.A.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; COTA, L.V.; SANTOS, F.C. dos; SOUSA, S.M. de; LANA, U.G. de P.; OLIVEIRA, M.C.; MATTOS, B.B.; ALVES, V. M.C.; RIBEIRO, V.P.; VASCO JUNIOR, R. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Circular Técnica, 260).

OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J.R.A.; PEREIRA, B.F.F.; MUNIZ, A.W. Inoculation with *Azospirillum brasilense* increases maize yield. *Chemistry and Biology of Technology in Agriculture*, v.5, p.6, 2018.

ORMEÑO-ORRILLO, E.; MENNA, P.; ALMEIDA, L.G.P.; OLLERO, F.J.; NICOLÁS, M.F.; RODRIGUES, E.P.; NAKATANI, A.S.; BATISTA, J.S.S.; CHUEIRE, L.M.O.; SOUZA, R.C.; VASCONCELOS, A.T.R.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. genomic basis of broad host range

and environmental adaptability of *Rhizobium tropici* CIAT 899 and *Rhizobium* sp. PRF 81 which are used in inoculants for common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). BMC Genomics, v.13, p. 35, 2012.

OSORIO FILHO, B.D.; BINZ, A.; LIMA, R.F.; GIONGO, A.; DE SÁ, E.L.S. Promoção de crescimento de arroz por rizóbios em diferentes níveis de adubação nitrogenada. Ciência Rural, v.46, n.3, p.478-485, 2016.

PALMERO, L.; ULLOA, L.; COLINA, O.L. Selection of *Rhizobium* strains, inoculated in corn (*Zea mays*, L.), in field conditions in cattle ecosystems of Sancti Spiritus, Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science, v.45, p.4, 2011.

PIGNATELLI, M.; MOYA, A.; TAMAMES, J. EnvDB, a database for describing the environmental distribution of prokaryotic taxa. Environmental Microbiology Reports, v.1, n.3., p.191- 197, 2009. doi:10.1111/j.1758-2229.2009.00030.x

PUENTE, M.L.; GARCIA, J.E.; PERTICARI, A. Investigación aplicada de *Azospirillum* para su uso como promotor del crecimiento en cultivos de interés agronómico. In: CASSÁN, F.D., GARCIA DE SALAMONE, L. (Eds.). *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 67-178.

RELARE - Reunião da Rede de Laboratórios para Recomendação, Padronização e Difusão de Tecnologia de Inoculantes Microbianos de Interesse Agrícola. Anais da XVII RELARE. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 112p. (Documentos, 369).

RIBEIRO, V.P.; MARRIEL, I.E.; SOUSA, S.M. DE; LANA, U.G. DE P.; MATTOS, B.B.; PAIVA, C.A.O.; GOMES, E.A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.49S, p.40-46, 2018.

RODRÍGUEZ-SALAZAR, J.; SUÁREZ, R.; CABALLERO-MELLADO, J.; ITURRIAGA, G. Trehalose accumulation in *Azospirillum brasilense* improves drought tolerance and biomass in maize plants. *FEMS Microbiology Letters*, v.296, n.1, p.52-59, 2009.

SÁ, J.C.M.; LAL, R.; CERRI, C.C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, J.; CARVALHO, P. C.C. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. *Environment International*, v.98, p.102-112, 2017.

SAIKIA, S.P.; BORA, D.; GOSWAMI, A.; MUDOI, K.D.; GOGOI, A. A review on the role of *Azospirillum* in the yield improvement of non-leguminous crops. *African Journal of Microbiology Research*, v. 6, n.6, p.1085-1102, 2012.

SANDINI, I.E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; DA CRUZ, S.P.; NAKATANI, A.S.; ARAUJO, R.S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. *International Journal of Agriculture and Biology*, v.22, n.6, 1369-1375, 2019.

SANTNER, A.; CALDERON-VILLALOBOS, L.I.; ESTELLE, M. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology*, v.5, p.301-307, 2009.

SANTOS, M.S.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present, and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB express*, v.9, p.205, 2019.

SANTOS, M.S.; RODRIGUES, T.F.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. The challenge of combining high yields with environmentally friendly bioproducts: a review on the compatibility of pesticides with microbial inoculants. *Agronomy*, v.11, p.870, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050870>

SCALES, B.S.; DICKSON, R.P.; LIPUMA, J.J.; HUFFNAGLE, G.B. Microbiology, genomics, and clinical significance of the *Pseudomonas fluorescens* species complex, an unappreciated colonizer of humans. *Clinical Microbiology Reviews*, v.27, n.4, p.927-948, 2014.

SCHLOTTER, M.; NANNIPIERI, P.; SØRENSEN, S.J.; van ELSAS, J.D. Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, v.54, p.1-10, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1248-3>

SEEFELDT, L.C.; HOFFMAN, B.M.; PETERS, J.W.; RAUGEL, S.; BERATAN, D.N.; ANTONY, E.; DEAN, D.R. Energy transduction in nitrogenase. *Accounts of Chemical Research*, v.51, p.2179-2186, 2018.

SERAFIM, M.E.; MENDES, I.C.; WU, J. ONO, F.B.; ZANCANARO, L.; VALENDORFF, J.D.P.; ZEVIANI, W.M.; PIERANGELI M.A.P.; FAN, M.; LAL, R. Soil physicochemical and biological properties in soybean areas under no-till systems in the Brazilian Cerrado, *Science of the Total Environment*, v.862, p.160674, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160674>

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, v.31, n.3, p.446-459, 2017.

SILVA, R.V.; SANTOS, E.L.; PEREIRA, G.S.; HASS, I.J.; FURLANETTO, R.H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Infiltração de água no solo em diferentes sistemas de manejo na região norte do Paraná. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 13., p.188-194, 2018. *Resumos Expandidos...* Londrina: Embrapa Soja, 2018. (Documentos, 401).

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African Journal of Agricultural Research*, v.9, n.16, p.1265-1277, 2014.

SMITH, S.; HABIB, A.; KANG, Y.; LEGGET, M.; DÍAZ-ZORITA, M. LCO applications provide improved responses with legumes and nonlegumes. In: DE BRUIJN, F. (Ed.). Biological nitrogen fixation: Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. p.1077-1086.

SOUSA, H.C.; SOUSA, G.G.; VIANA, T.V.A.; PEREIRA, A.P.A.; LESSA, C.I.N.; SOUZA, M.V.P.; GUILHERME, J.M.S.; GOES, G.F.; ALVES, F.G.S.; GOMES, S.P.; SILVA, F.D.B. *Bacillus aryabhatai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological system. *Agriculture*, v.13, n.6, p.1150, 2023.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, v.31, p.425-448, 2007.

TARIQ, M.; NOMAN, M.; AHMED, T.; HAMEED, A.; MANZOOR, N.; ZAFAR, M. Antagonistic features displayed by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, v.1, p.38-43, 2017.

TONON-DEBIASI, B.C.; DEBIASI, H.; RONDINA, A.B.L.; MORAES, M.T.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A. Microbial attributes as structural quality index for physical health of an Oxisol under compaction levels. *Soil and Tillage Research*, v.235, p.105872, 2024.

TUGAROVA, A.V.; VETCHINKINA, E.P.; LOSHCHININA, E.A.; BUROV, A.M.; NIKITINA, V.E.; KAMNEV, A.A. Reduction of selenite by *Azospirillum brasilense* with the formation of selenium nanoparticles. *Microbial Ecology*, v.68, n.3, p.495-503, 2014.

TURAN, M.; GULLUCE, M.; VON WIRÉN, N.; SAHIN, F. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.175, p.818-826, 2012.

VELLOSO, C.C.V.; OLIVEIRA, C.A.; GOMES, E.A.; LANA, U.G. DE P.; CARVALHO, C.G.; GUIMARÃES, L.J.M.; PASTINA, M.M.; SOUSA, S.M. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. *FEMS Microbiology Ecology*, v.96, n.9, p.157, 2020.

WAHYUDI, A.T.; ASTUTI, R.P.; WIDYAWATI, A.; MERYANDINI, A.; NAWANGSIH, A.A. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from the rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Microbiology Indonesia*, v.3, n.2, p.34-40, 2011.

WHIPPS, J.M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, v.52, p.487-511, 2001.

WILHELM, R.C.; AMSILI, J.P.; KURTZ, K.S.; van ES, H.M.; BUCKLEY, D.H. Ecological insights into soil health according to the genomic traits and environment-wide associations of bacteria in agricultural soils, *ISME Communications*, v.3, p.1., 2023. <https://doi.org/10.1038/s43705-022-00209-1>

WONG, W.S.; TAN, S.N.; GE, L.; CHEN, X.; YONG, J.W. The importance of phytohormones and microbes in biofertilizers. In: MAHESHWARI, D.K. (Ed.). *Bacterial metabolites in sustainable agroecosystem*. Switzerland: Springer International Publishing. 2015. p.105-158.

YANG, C.; HAMEL, C.; VUJANOVIC, V.; GAN, Y. Fungicides: modes of action and possible impact on nontarget microorganisms. *ISRN Ecology*, Article ID 130289, 2011. doi: 10.5402/2011/130289.

ZUBER, S.M.; BEHNKE, G.D.; NAFZIGER, E.D.; VILLAMIL, M.B. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. *Soil and Tillage Research*, v. 174, p. 147-155, 2017. doi.org/10.1016/j.still.2017.07.007

Capítulo 5

COMPLEXO DE MOSAICO E ENFEZAMENTOS DO MILHO TRANSMITIDOS POR PULGÕES E CIGARRINHAS

Roberto Carvalho¹

Palavras-chave: Molicutes, pulgão alado, viroses.

Resumo: O complexo de mosaicos e enfezamentos do milho é transmitido por dois insetos vetores e causado por seis patógenos: o vírus do mosaico da cana-de-açúcar - SCMV e o mosaico amarelo do milho - MaYMV, ambos transmitidos pelo pulgão alado, *Rhopalosiphum maidis*; pelos molicutes espiroplasma - CSS e fitoplasma - MBSP, o vírus da risca do milho - MRFV e mais recentemente também pelo mosaico estriado do milho - MSMV, transmitidos pela cigarrinha *Dalbulus maidis*. Sempre presente de forma esporádica nas lavouras de milho durante décadas, causado pelos molicutes e vírus da risca, este complexo tornou-se mais importante no Brasil após epidemias na região Nordeste de São Paulo, Triângulo Mineiro e Sudoeste Goiano, durante as safras de verão de 2015 à safrinha de 2017, com infecções mistas de patógenos, proporcionando sintomas ainda não observados até então. A partir daí muitas diagnoses por PCR foram realizadas por diferentes instituições para a associação dos patógenos aos sintomas observados em campo e para melhor entendimento do complexo. Isso proporcionou definirmos o título acima deste texto, de forma mais completa do problema e termos a certeza de que o patossistema da cigarrinha *Dalbulus*

¹Engenheiro-agrônomo, Líder de Fitopatologia do Melhoramento Genético da LongPing High Tech, Rodovia Anhanguera, km 344, Jardinópolis, SP. E-mail: rvcavalho@lpht.com

maidis não é o único causador deste complexo e suas epidemias crescentes.

Sistema de produção e epidemia

Durante o 40º Congresso Paulista de Fitopatologia, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), em Campinas, SP, em fevereiro de 2017, foi realizada de forma urgente uma reunião para discutir o surto de enfezamentos e viroses na cultura do milho, com a presença de especialistas da área, pesquisadores e muitos agricultores, onde foi indicado vários caminhos a serem seguidos, como monitoramento dos vetores e patógenos, entendimento epidêmico do complexo, sistemas de produção que promovem esta epidemia, necessidade de materiais geneticamente tolerantes, manejos preventivos e de controle a serem implementados, etc. (Duarte, 2017).

Nesta ocasião foi constatado, entre outros aspectos e temas discutidos, que o sistema de produção utilizado na cultura do milho, como plantios consecutivos soja-milho sem possibilitar a rotação de culturas, plantios contínuos da cultura do milho em uma mesma região, plantio de híbridos suscetíveis e períodos de plantio amplos numa mesma região com potencial climático epidêmico é que proporcionaram e potencializaram as ocorrências desta epidemia. Regiões somente com uma época de plantio do milho, sem plantio da cultura por meses na região, inicialmente não apresentaram estas ocorrências epidêmicas.

Nos últimos anos, foi registrada a ocorrência ou epidemia deste complexo em outros estados, como Santa

Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Bahia, tornando-se em diferentes proporções e intensidade um complexo de doença nacional. Na maioria destas regiões constatou-se a ampliação dos períodos de plantios, seja por plantios antecipados ou plantios tardios, proporcionando a permanência da cultura ou plantas voluntárias, que mantem os insetos vetores e os patógenos na região, multiplicando-os.

O mercado brasileiro de milho tem considerado a cigarrinha como a responsável por este complexo de doença e pela transmissão de todos os sintomas observados. Porém, muitas vezes, alguns sintomas têm sido causados pelos patógenos transmitidos pelos pulgões alados, que se alojam especialmente entre as folhas do cartucho do milho, difíceis de serem observados pelo tamanho pequeno e pelo desconhecimento sobre eles.

Sintomatologia e Diagnose

Os enfezamentos, transmitidos pela cigarrinha *Dalbulus maidis*, se caracterizam pelo encurtamento dos internódios, formação de perfilhos, super espigamento em diferentes internódios, redução de porte e mau enraizamento da planta (Figura 1), podendo levar a planta ao tombamento (Sabato, 2017). A coloração das folhas pode variar de amarelcidas a avermelhadas, em geral iniciando nas bordas das folhas. Mas não deve ser considerado um sintoma típico importante para definir a diagnose sem os outros sintomas descritos, pois a coloração das folhas pode variar para cada híbrido em questão,

devido à presença, ausência ou quantidade de antocianina em cada genética.



Figura 1. Desenvolvimento radicular de planta sadia, planta com sintomas de mosaico SCMV e de plantas com os mollicutes, patógenos do enfezamento (fitoplasma e espiroplasma). Fonte: Roberto Carvalho.

Transmitidos por pulgões alados da espécie *Rhopalosiphum maidis*, os mosaicos do milho apresentam como sintomas típicos cloroses foliares com gradiente verde claro ao amarelo, deformação de espigas e até quebramento na base do colmo ainda verde, sempre de acordo com a genética do híbrido hospedeiro (Figura 2). Estes sintomas têm sido atribuídos, em diversas situações, ao complexo de enfezamento transmitido

pela cigarrinha, proporcionando definições errôneas de diagnose e manejo.



Figura 2. Sintomas típicos do vírus do mosaico (SCMV) em milho: **Sintomas foliares** em forma de mosaico, com coloração e formatos dos sintomas na folha de acordo com o material genético, podendo necrosar as lesões cloróticas internervais; **Sintomas nas espigas** que polinizam inteiramente mas podem não ter enchimento completo, apresentam diminuição de tamanho e deformações como mau empalhamento, lembrando palhas rasgadas; **Sintomas de quebraimento verde de colmo** com apodrecimento do primeiro internódio logo acima do solo. Fonte: Roberto Carvalho.

Nos últimos anos, o conhecimento crescente dos sintomas causados por cada patógeno, individualmente, à planta de milho, tem permitido separar com propriedade as diferenças dos sintomas típicos dos enfezamentos transmitidos pelas cigarrinhas e dos sintomas típicos do mosaico SCMV transmitido pelo pulgão alado (Quadro 1). Este conhecimento

tem ajudado a entender os monitoramentos realizados em cada região, especialmente quando se tem os resultados das análises de PCR, permitindo incrementar as medidas conjuntas e regionais de cada manejo.

ENFEZAMENTOS	VÍRUS MOSAICO
Cigarrinha	Pulgão alado
- Folhas avermelhadas ou amarelcidas	- Folhas com mosaico típico e estrias necrosadas
- Encurtamento dos internódios	- Sem encurtamento dos internódios
- Múltiplo espigamento, uma espiga por nó	- Uma espiga completa
- Acamamento	- Quebramento verde (1º internódio longo)
- Pequena ou nenhuma granação	- Granação completa com mal enchimento
- Hospedeiro: milho	- Hospedeiros: Milho, Sorgo, Cana, Capins

Quadro 1. Características fenotípicas do complexo de enfezamentos comparativamente ao complexo mosaico SCMV do milho, para melhor entendimento da sintomatologia. Fonte: Roberto Carvalho.

Através da análise via PCR, é possível identificar os patógenos presentes em plantas, desde que devidamente amostrados para extração de RNA e DNA de qualidade, mesmo quando estes ocorrem simultaneamente devido a infecções mistas de patógenos. Está sendo realizado o monitoramento em todas as regiões brasileiras onde ocorrem o complexo de mosaicos e enfezamentos, prevalecendo ao longo dos anos a maior ocorrência dos mosaicos transmitidos pelos pulgões

alados (Figura 3). Com estas informações pode-se pensar melhor nas estratégias de manejo preventivo a ser implementado em cada região produtora e verificar que nem tudo é transmitido pelas cigarrinhas.

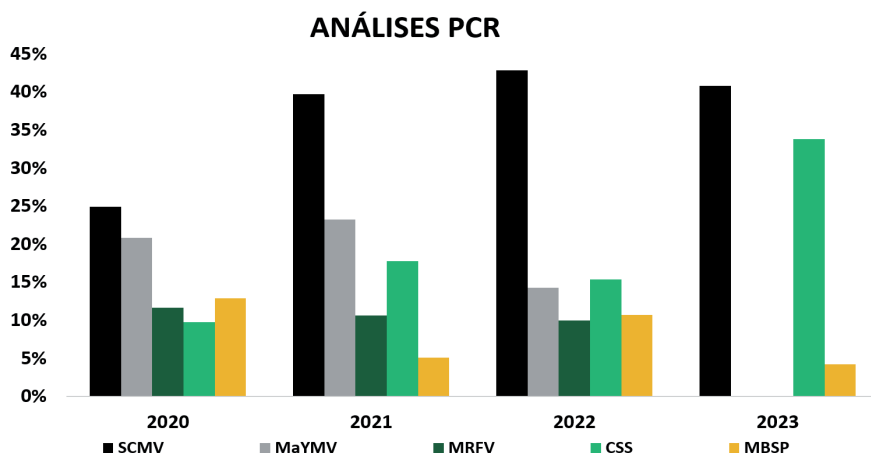


Figura 3. Monitoramento dos patógenos do complexo do mosaico e dos enfezamentos - Análises via PCR, no Laboratório de Biotecnologia da LongPing High Tech.

Manejo do Complexo

As práticas imprescindíveis para a convivência e redução dos danos deste complexo de doenças incluem: monitoramento dos insetos vetores e plantas de milho infectadas com estes patógenos; eliminação de tigueras de milho e gramíneas hospedeiras dos mosaicos; evitar plantios consecutivos e janelas de plantio amplas; realizar tratamento de sementes com inseticidas para sugadores; aplicação precoce de inseticidas

químicos e/ou biológicos para a redução da população destes insetos vetores; uso de híbridos tolerantes ou moderadamente tolerantes ao complexo de mosaico e enfezamentos, assim como o correto posicionamento dos híbridos a serem plantados.

Tem-se priorizado a obtenção, desenvolvimento e lançamento de híbridos tolerantes ao complexo de mosaicos e enfezamentos do milho, para proporcionar a expressão máxima do potencial produtivo e adaptativo de cada híbrido. Desde 2018 não é realizado lançamento de híbridos com média suscetibilidade ou suscetibilidade ao complexo. Para isso, tem-se realizado anualmente a avaliação de todos os híbridos experimentais e pré-comerciais ao complexo em diferentes regiões e épocas de plantio.

Ações regionais conjuntas e sistemáticas das plantas doentes de milho, seja de plantas voluntárias (tigueras), em beiradas de estrada ou em lavouras próximas mais velhas e o controle de plantas daninhas hospedeiras do mosaico e do pulgão (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria plantaginea*, *Panicum maximum*, *Digitaria horizontali*, milheto, etc.) são primordiais para interromper a permanência dos inóculos deste complexo numa área ou especialmente numa região. O foco no controle de plantas doentes tem se mostrado efetivo para a prevenção do complexo de mosaicos e enfezamentos do milho, mesmo quando a população dos insetos vetores sadios estiver alta.

Considerações finais

A identificação e o monitoramento dos patógenos causadores do complexo dos mosaicos e enfezamentos é essencial para o conhecimento dos sintomas e para a orientação do manejo preventivo do problema.

A caracterização dos híbridos do mercado em diferentes ambientes através do conhecimento dos sintomas de cada patógeno do complexo e em infecções mistas, é imprescindível para a seleção e o aumento do uso pelo agricultor de materiais geneticamente tolerantes.

A característica dos vetores de nascerem sadios, tendo que ser infectados por plantas doentes, seja de plantios contínuos de milho na região, infestação da lavoura nova com insetos vetores infectados de outras regiões pelo vento ou da permanência de tigueras na cultura da soja e nas estradas, faz com que o manejo preventivo tenha na eliminação de plantas doentes e a diminuição da população dos insetos vetores as mais importantes estratégias de prevenção deste complexo.

Além da eliminação das tigueras de milho, interrupção dos plantios consecutivos de milho e redução da janela de plantio regionalmente, a eliminação de plantas hospedeiras do mosaico e dos pulgões, como capins dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* entre outras gramíneas, tornam-se pontos estratégicos de manejo.

É demandada muita pesquisa básica e aplicada para melhor conhecimento dos sintomas, dinâmica dos patógenos com seu respectivo vetor e prevenção do complexo dos mosaicos e enfezamentos transmitidos pelos pulgões alados e pelas cigarrinhas, respectivamente.

Referências bibliográficas

DUARTE A.P. Síntese sobre Enfezamento e Viroses na Cultura do Milho. Disponível em: <https://zeamays.com.br/wp-content/uploads/2024/01/SINTESE-SOBRE-ENFEZAMENTO-E-VIROSES-NO-MILHO.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2024.

SABATO, E.O. 2017. Enfezamentos do milho. In: OLIVEIRA, C.M. de; SABATO, E.O. (Eds.) Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus. Brasília: Embrapa, 2017. p.13-43.

Capítulo 6

MANEJO DA CIGARRINHA DO MILHO

(Dalbulus maidis)

Paulo Roberto Garollo¹

Palavras-chave: Enfezamentos, molicutes, vetor.

Resumo: A cigarrinha do milho, praga que no Brasil tem como único hospedeiro verdadeiro a planta de milho, se beneficia com o contínuo cultivo da cultura e mantém sua espécie em altas populações, durante todo ano. Assim sendo, a cigarrinha do milho se dispersou de forma muito rápida em todo o Brasil e por ser vetor de transmissão dos agentes causais do complexo de enfezamentos do milho, tornou-se uma praga de altíssima importância econômica para a cultura. A cigarrinha tem preferência por se alimentar em plantas mais jovens e nas folhas mais novas, sendo comum encontrar altas populações no cartucho do milho. Por isso, é importante escolher genótipos de milho com tolerância aos enfezamentos. Também se torna imprescindível eliminar plantas tigueras de milho entre um cultivo e outro. O manejo adequado para conter as populações de cigarrinhas do milho precisa estar focado em estratégias e não apenas em produtos. Os inseticidas podem agir de forma sistêmica (ingestão) e/ou contato, preferencialmente com baixa solubilidade em água, baixa volatilidade e alta lipofilicidade.

¹Engenheiro-agrônomo, Pesquisador na área de Fitotecnia, Especialista na Cultura do Milho, Fitolab Pesquisa e Desenvolvimento Agrícola. E-mail: garollo.fitolab@gmail.com

Aplicações complementares com inseticidas biológicos precisam estar bem alinhadas com as estratégias ligadas a todos os fatores que possam exercer impactos em sua eficiência. Agricultores devem trabalhar de forma disciplinada e em conjunto para obterem resultados satisfatórios no manejo da cigarrinha do milho; estabelecer estratégias semelhantes e trabalharem as “janelas de plantio” em períodos mais curtos, concentrados, evitando escalonamento de plantio a longo prazo.

Introdução

O milho destinado à produção de grãos é o segundo cereal de maior volume produzido no Brasil, estimado em chegar a 125,8 milhões de toneladas, num crescimento esperado de 11,2% maior que na safra anterior, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023). A Conab também destaca que, em conformidade às condições edafoclimáticas existentes no território nacional brasileiro, esta cultura é plantada em praticamente todos os estados da Federação e com possibilidades de até três plantios por ano em vários estados.

Desta forma, ocorre a chamada “ponte verde do milho”, que caracteriza o plantio contínuo, subsequente da cultura, permitindo não só sua produção de grãos, mas também a manutenção do ciclo vital de várias pragas e doenças. Neste particular, a cigarrinha do milho, praga que tem como único hospedeiro verdadeiro, no Brasil, a planta do milho, se beneficia com o contínuo cultivo da cultura e mantém sua espécie em altas populações, durante todo ano. Assim sendo, a cigarrinha do milho, por sua alta capacidade migratória, alta capacidade

infectiva e várias particularidades de ordem biológica, se dispersou de forma muito rápida em todo o Brasil. Por serem vetoras de transmissão dos agentes causais do complexo de enfezamentos do milho, as bactérias da classe dos *Mollicutes* e as viroses da família dos *Rhabdoviridae*, gênero *Nucleorhabdovirus* e família *Geminiviridae* e gênero *Mastrevirus*, causadores das doenças do complexo de enfezamentos do milho, podem causar impactos de redução na produtividade da cultura que chegam a ultrapassar 70% de perdas. Por isso, ocuparam a posição de principais pragas da cultura.

Aspectos da biologia da cigarrinha do milho

Potencial migratório: facilmente podem se deslocar em raios de 20 km de distância.

Hábitos diurnos e hábito alimentar monófago: se alimenta essencialmente de milho.

Plantas hospedeiras: no Brasil somente o milho, com exceção do Rio Grande do Sul, onde se utiliza o teosinto em conjunto ao milho nas áreas de produção de silagem;

Temperaturas ideais para seu desenvolvimento e multiplicação: médias entre 27°C e 30°C.

Potencial de oviposição: média de 14 ovos/dia, podendo ultrapassar 600 ovos/ciclo.

Oviposição endofítica: no tecido celular das folhas próximo da nervura central e sua eclosão dentro de 9 a 12 dias em função da temperatura.

Ninfas passam por 5 ínstaes para atingirem a fase adulta,

num período de 15 a 18 dias, e tendem a permanecer estáticas, se alimentando na parte abaxial das folhas e se movimentam apenas quando incomodadas.

Adultos podem sobreviver por semanas em outros vegetais sem se alimentarem, num processo de oligopausa.

A cigarrinha tem preferência por se alimentar em plantas mais jovens e nas folhas mais novas, sendo comum encontrar altas populações no cartucho do milho (Figura 1).



Figura 1. Cigarrinha do milho em folha do cartucho do milho. Foto: Fábio Lima Santos.

A infestação da cigarrinha nas lavouras é em forma sistemática, entrando sempre pelas bordas das áreas – infestação primária – e depois dispersando para o centro, sistematicamente – infestação secundária, terciária e, assim, sucessivamente;

Inocula os agentes causais diretamente no floema das plantas, tornando a doença vascular;

A contaminação da cigarrinha com os agentes causais ocorre de forma persistente e propagativa. Portanto, potencialmente infectiva durante todo seu ciclo de vida;

O processo de propagação, incubação e latência dos agentes causais na cigarrinha demora de 17 a 28 dias para se completar.

Estratégias de manejo da cigarrinha

Atualmente, a única maneira de conter o avanço dos enfezamentos no milho é através do manejo do inseto vetor. Particularmente, no caso da cigarrinha do milho, este princípio é ainda maior, pois a inoculação dos agentes causais das doenças ocorre nos vasos do floema das plantas de milho, o que dificulta ainda mais o seu manejo curativo. Não há ainda ferramentas curativas que possam circular nestes vasos e conter a ação dos agentes causais. Desta forma, o manejo precisa ser controlando o inseto vetor e nos momentos de maior importância do ponto de vista da severidade que poderá causar nas plantas. O manejo adequado para conter as populações de cigarrinhas do milho precisa estar focado em estratégias e não apenas em produtos.

O agricultor precisa estar ciente de que somente através da utilização de um conjunto de boas práticas agrícolas alcançará bons resultados no controle das cigarrinhas do milho. Desta forma, estabelecer uma estratégia de controle exige algumas premissas que farão diferença no resultado.

É importante conhecer particularidades eco-biológicas deste inseto e melhorar o entendimento de seus hábitos e interações ambientais.

Em sequência, é de extrema importância o entendimento do ambiente em relação ao momento crítico de agir com as práticas de manejo. Neste caso, pensando no manejo dos enfezamentos, o controle da praga deverá ser efetivado desde a emergência e início da expansão das primeiras folhas da planta até o estágio fenológico vegetativo V10.

Neste intervalo é necessário levar em consideração que o volume de biomassa de milho será pouco representativo dentro do ambiente e a maior parte dos produtos utilizados no controle da praga estarão vulneráveis à ação dos fatores abióticos e bióticos do ambiente. Portanto, características físico-químicas de produtos deverão estar no “radar” do agricultor no momento da escolha. A persistência ou residual estará diretamente ligada à estabilidade oferecida nos produtos por suas características físico-químicas específicas.

É imprescindível também ter muita atenção no conhecimento específico das ferramentas de proteção que estão disponíveis no mercado para se fazer o manejo da praga e os produtos químicos e biológicos. Seguir corretamente as instruções da bula, sua dosagem para praga alvo, o número máximo de aplicações permitidas por ciclo da cultura, o intervalo de reentrada e de segurança. Utilizar corretamente as opções de produtos químicos é tão importante quanto estabelecer o melhor produto. Mais um detalhe importante neste quesito é conhecer o modo de ação dos produtos que serão utilizados. A rotação de produtos químicos deverá ser em relação aos seus modos de ação e não apenas de ingredientes ativos e/ou grupos

químicos.

O entendimento da fisiologia das plantas, nos momentos críticos de aplicação dos defensivos, será de fundamental importância para se estabelecer os produtos mais assertivos para cada momento. Lembrar que a expansão de cada nova folha da planta de milho costuma acontecer num período de 3 a 4 dias nas condições de clima tropical. Portanto, dependendo da pressão da população da praga, é fundamental a adoção de alternativas específicas de maximizar a proteção da área com ações em intervalos menores que os indicados oficialmente em bula.

Tolerância genética do milho

Por definição acadêmica, resistência é a habilidade da planta em limitar a carga viral do patógeno, significando que ela “briga” com o patógeno para eliminar ou limitar a carga viral; já a tolerância é a habilidade da planta de conviver com o patógeno, de forma pacífica.

Generalizando, o termo resistência genética a agentes fitopatogênicos está mais associado à herança qualitativa (oligogênica), onde um único gene está envolvido com uma característica principal de suscetibilidade ou resistência; já a tolerância está mais associada à herança genética quantitativa (poligênica), onde vários pares de genes interagem para determinar uma característica, cada um com efeito aditivo sobre o outro. Graças a esse tipo de interação existe uma variedade muito grande de fenótipos e genótipos para algumas características.

Mas este conceito não é uma regra técnico-científica, porém o efeito da diferença na expressão fenotípica deixa a percepção para os termos resistência e tolerância. Na genética moderna, para a maioria das doenças, a utilização de herança quantitativa - também chamada de resistência horizontal é mais usual, pois em função da ação conjunta de diferentes genes determinando a resistência, é mais segura do ponto de vista de durabilidade. A resistência horizontal dificulta muito a quebra por ocorrência de novas raças (comum em agentes fitopatogênicos), trazendo maior segurança e durabilidade de proteção. No mercado, em função deste comportamento da herança quantitativa, adotou-se o termo tolerância evitando possíveis interpretações errôneas. No geral, o termo resistência é muito confundido com imunidade e acaba provocando erros e falta de tratamentos adequados. Não existem híbridos “resistentes” ao complexo de enfezamentos e nem tampouco à cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*), mas exatamente por utilização de herança quantitativa, há híbridos que oferecem maior “tolerância” à presença dos agentes causais em suas plantas e, assim, tem-se o apoio genético como uma das boas práticas agrícolas no manejo da cigarrinha e dos enfezamentos.

Neste particular, ainda deve-se considerar que as plantas também desenvolvem mecanismos de defesa em relação a pragas, tanto de ordem fisiológica, quanto de ordem estrutural. Defesas estruturais são chamadas de antixenose e defesas fisiológicas são chamadas de antibiose.

Estes mecanismos de resistência são agrupados em

três categorias: não-preferência, que é a resistência decorrente do efeito adverso da planta sobre o comportamento do inseto; antibiose, que inclui os efeitos adversos exercidos pela planta na biologia do inseto; e tolerância, quando a planta mostra capacidade para crescer e produzir sem perdas significativas, apesar de atacada por uma população de insetos aproximadamente igual à que prejudica a produção de plantas suscetíveis.

A pesquisa também detectou que as cigarrinhas do milho se movimentam e fazem suas migrações, particularmente atraídas pelos óleos monoterpênicos (hidrocarbonetos orgânicos), que tem a propriedade de serem voláteis, podendo exercer a função de atração e/ou repelência em insetos. No caso do milho, o linalol é o grande atrativo para cigarrinha do milho e é produzido em maior quantidade por híbridos com maior base genética de origem em regiões temperadas. Já os híbridos com maior base genética de origem tropical produzem quantidades muito menores de linalol e são bem menos procurados e infestados pela cigarrinha do milho. Portanto, novas ações vêm sendo tomadas pelos pesquisadores e melhoristas, trazendo mudanças nas características genéticas e mantendo mais presença de bases tropicais.

Apesar do efeito preferência ou repelência oriundas de antixenose, em situações de alta pressão da praga não terão grande eficiência e poderão sofrer sérias perdas de produtividade. Portanto, o recurso genético como fonte de resistência, não é sozinho uma garantia de proteção, mas um

dos itens que fazem parte das boas práticas de manejo.

Escolher híbridos com maior tolerância ao complexo do enfezamento poderá estar muito aliado ao momento de sua implantação no campo. Alguns híbridos de milho classificados como moderadamente suscetível e suscetível ao complexo do enfezamento, quando submetidos em manejo contínuo, até o estágio fenológico de V12, conseguem manter mais próximo a integridade do seu potencial produtivo genético e garantem rentabilidade ao agricultor, mesmo diante de maior investimento em insumos agrícolas.

O período de incubação e latência dos agentes causais nas plantas de milho costuma ser longo, especialmente as bactérias, que podem levar de 4 a 9 semanas para efetivar. Os sintomas das doenças causadas pelas bactérias começam a se manifestar apenas após o estágio fenológico de V10 / V12. As viroses são bem mais rápidas neste processo (entre 9 e 18 dias) e já nos estádios fenológicos de V3/V4 em diante poderão manifestar sintomas na planta. Inicialmente, pontuações cloróticas no sentido longitudinal da folha, entre as nervuras e vão tendendo à se coalescerem durante o desenvolvimento vegetativo da planta, até formarem listas uniformes, de coloração amarela, lembrando raias de corrida.

Quanto mais cedo o inseto inocular os agentes causais, mais terão tempo e oportunidade de se desenvolverem em forma de colônias e bloquearem a translocação dos açúcares na formação da planta e depois no enchimento dos grãos. O bloqueio de açúcares nas plantas em estádios fenológicos

iniciais acarreta dificuldades no desenvolvimento do sistema radicular e afeta inclusive a produção e o equilíbrio hormonal delas, podendo afetar o processo de polinização e provocar falhas de grãos na espiga.

Controle do milho voluntário ou “tiguera”

As tigueras de milho, encontradas em áreas de cultivo de outras culturas, além de se constituírem como “pontes verdes” totalmente desprotegidas de manejos para cigarrinha, permitindo sua multiplicação, também causam danos diretos por competição com a própria cultura onde ocorre.

É de fundamental importância estabelecer o momento correto para se realizar o controle do milho tiguera. Sabe-se das dificuldades práticas com relação ao fluxo de emergência das tigueras, especialmente quando oriundas de partes de espigas que caem na colheita, mantendo grãos que irão emergir em momentos diferentes (Figura 2). Mesmo assim, é imprescindível estabelecer a estratégia mais assertiva para conter estas populações de tiguera e realizar aplicação de herbicidas no momento mais adequado. Além de diminuir a oportunidade da praga e dos agentes causais de se multiplicarem, reduz também o impacto competitivo com a cultura estabelecida e permite o uso adequado, em dose permitida por bula, em aplicações sequenciais. Desta forma, é possível reduzir muito a permanência de plantas tiguera, mesmo na situação de fluxo de emergência diferente.



Figura 2. Emergência de milho em diferentes etapas. Foto: Fábio Lima Santos.

Os herbicidas devem ser alternativas adotadas para manejar o milho tigueras das áreas de outros cultivos. Para “tigueras de milho” oriundas de áreas cultivadas com milho convencional – não tolerantes ao glifosato, a alternativa de utilizar o herbicida inibidor da enzima EPSPS (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase) – glifosato – é a mais indicada. Porém, em áreas onde as tigueras são oriundas de milho transgênico, tolerantes ao glifosato, os herbicidas inibidores da enzima ACCASE (acetil-coenzima A-carboxilase), chamados graminicidas, serão alternativas viáveis, respeitando a cultura onde estarão sendo utilizados e observando sua seletividade.

Herbicidas que agem por este mecanismo de ação, inibidores de ACCASE, são divididos em três grupos químicos: ariloxifenoxipropionatos (Fops), ciclohexanodionas (Dims) e

fenilpirazolinonas (Dens).

De maneira geral, caracterizam-se por serem herbicidas pós-emergentes e apresentarem curto efeito residual no solo. Eles são absorvidos rapidamente pelas folhas e translocam-se para os pontos de crescimento, paralisando o crescimento da planta logo após a aplicação (intervalo de 1 a 2 dias). As folhas do milho inicialmente tornam-se amareladas, evoluindo para uma coloração arroxeadada, com posterior necrose do tecido foliar.

Assim, é importante identificar o momento ideal com a dose permitida com possibilidade de uma aplicação sequencial, além de promover a morte rápida das plantas em estádios fenológicos muito mais seguros do ponto de vista da multiplicação das pragas e da contaminação pelos agentes causais. O ideal é entrar com a aplicação destes herbicidas quando a maioria das plantas emergidas de milho tiguera estiverem no estágio fenológico de V4.

Até o estágio fenológico de V5 o controle é mais rápido e mais eficaz, além de permitir o uso de 50% da dose total permitida destes herbicidas por ciclo da cultura e a aplicação sequencial será parte fundamental da estratégia no manejo do fluxo de emergência.

Plantas de milho tiguera que não foram controladas no momento adequado, permitirão a multiplicação na população da praga e a permanência dos agentes causais totalmente viáveis para contaminar as ninfas dali oriundas e aumentar populações já potencialmente infectivas.

O primeiro passo das boas práticas de manejo da cigarrinha do milho é o controle/erradicação do milho voluntário, “milho tiguera”, “milho guacho”, que serve de ponte verde pela praga e também é o hospedeiro único dos agentes causais das doenças dos enfezamentos do milho.

É comum a incidência de milho tiguera nas áreas com o cultivo da soja (Figura 3), e a demora em se fazer o manejo destas plantas permite a manutenção das populações de cigarrinhas que se multiplicam nestas plantas, além da manutenção das bactérias e das viroses, que são parasitas obrigatórios e sobrevivem somente em tecidos vegetais vivos e de plantas de milho.



Figura 3. Lavoura de soja com plantas de milho tiguera. Foto: Compre Rural, 2022.

Importante observar que as populações de milho tiguera também se estabelecem em outros locais que não dentro das áreas de cultivo, incluindo as margens de estradas vicinais por onde circulam os transportes do cereal pós-colheita, em canteiros de avenidas e terrenos “baldios” dentro das cidades, locais de lavagem de máquinas e equipamentos agrícolas das propriedades rurais, e outros locais que, na maioria das vezes, passam despercebidos. Portanto, o cuidado com regulagem de colheitadeiras e o transporte do cereal constituem boas práticas de manejo.

Monitoramento e período crítico para manejo da cigarrinha

O monitoramento da praga deverá ser feito a partir da emergência das plantas e o critério para se decidir o nível de ação (momento de entrada com inseticidas), independente do tratamento de sementes utilizado, é presença ou ausência do inseto. Este critério é usual para insetos vetores de agentes causais de doenças em plantas, pois não é pela herbivoria da praga que se define o nível de dano, mas sim por sua infectividade. Portanto, não é o número de insetos que define o potencial de dano, mas sua infectividade.

Admite-se um critério de avaliação por número de insetos, onde a amostragem deverá ser em 4/5 pontos aleatórios, observando 25/20 plantas por ponto (preferencialmente no cartucho e nos horários mais quentes do dia), contando o número de insetos encontrados na amostragem total. Divide-se o número de insetos encontrados pelo número de plantas amostradas e alcançando a proporção de 1 inseto/planta,

recomenda-se iniciar a aplicação complementar de inseticida.

Tratamento de sementes

O tratamento de sementes é imprescindível para minimizar as populações dos insetos e reduzir as infestações iniciais.

Comumente, agricultores não conseguem enxergar bom resultado com o manejo da praga pelo tratamento de sementes. Provavelmente pela dificuldade em se precisar/contabilizar as populações iniciais da praga, não conseguem entender o real impacto no controle promovido pelo tratamento de sementes. Um índice porcentual de eficiência em 85% no controle da praga é altamente eficiente, porém em número absoluto se torna relativo – numa população inicial de 1.000 insetos – em números absolutos haveria mortalidade de 850 indivíduos e uma sobrevivência de 150 indivíduos; porém, numa população inicial de 10.000 indivíduos, haverá num mesmo índice de eficiência, a mortalidade de 8.500 indivíduos e a sobrevivência de 1.500 indivíduos. Desta forma, o agricultor acaba não percebendo a proteção inicial que ocorre pelo tratamento de sementes.

O grupo químico dos neonicotinóides tem apresentado, em trabalhos científicos, uma melhor performance no controle da cigarrinha. Este grupo de inseticida é dotado de características físico-químicas que o permite ser absorvido pelo sistema radicular e translocar de forma sistêmica via vasos do xilema. Seu período residual é variável, dependendo de alguns fatores abióticos, assim como do desenvolvimento embrionário da

cultura. No caso do milho, a folha primária (cotiledonar) já está formada e não expandida e será bem protegida pelo produto. A segunda folha, que também já está bem formada no embrião, também deverá ter uma excelente proteção pelo produto, independentemente dos fatores abióticos. Já para a terceira folha existe uma necessidade maior de condições favoráveis para chegar o produto e expandir em toda sua extensão e a partir daí, tem que estar pronto para aplicações complementares com outros inseticidas. Partindo desta premissa, o período de maior segurança na proteção das plantas com o tratamento de sementes para milho seria no máximo até atingir o estágio fenológico V2. Portanto, uma semana após emergência.

Neves et al. (2022) mostram a confirmação do período de maior suscetibilidade das plantas de milho pelas doenças do complexo de enfezamentos inoculadas pela cigarrinha do milho nos estádios fenológicos de VE à V4. Para este período, o tratamento de sementes é um aliado imprescindível do agricultor no sentido de reduzir os danos que poderão ser causados pelos enfezamentos. Porém, os estádios fenológicos de VE à V2 são os mais seguros em relação à ação do tratamento de sementes e, dependendo da população da praga, será fundamental o controle suplementar com outras aplicações.

Produtos químicos e biológicos

É importante que o agricultor escolha produtos químicos e biológicos devidamente registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) para utilização no controle da praga em questão.

Trabalhar sempre nas dosagens recomendadas por bula e respeitar os limites de utilização dos produtos.

Os inseticidas podem agir de forma sistêmica (ingestão) e/ou contato. Na forma sistêmica é importante considerar a translocação vascular, nos vasos do xilema e também a translaminar, nos espaços intercelulares com deposição parcial na parte abaxial da folha, acima da epiderme abaxial.

Apesar da translocação sistêmica via xilema ter sentido acropetal, nas folhas as gotas se movimentarão no sentido de onde caem para as pontas das folhas e não para a ponta da planta, onde se desenvolverão as novas folhas.

É de fundamental importância também conhecer a qualidade da água a ser utilizada para o preparo da calda, especialmente na questão de pH. Para a maioria dos inseticidas registrados para manejo da cigarrinha do milho, o pH ideal fica entre 5,0 e 6,0. Evitar trabalhar inseticidas em pH acima de 6,5, pois poderá ocorrer uma perda significativa na eficiência do produto.

Observar que o intervalo de reentrada com aplicações de inseticidas deveria respeitar o período mínimo de 7 dias. Porém, pelo aspecto migratório da praga e sua constante chegada de outras áreas infestadas, aliado ao ambiente de alta exposição aos fatores abióticos e ainda pelo aspecto do desenvolvimento fenológico da cultura, exige que produtos químicos tenham algumas características físico-químicas que os permitam permanecer mais tempo efetivo nas plantas e alcancem maior tempo de residual.

Características físico-químicas dos produtos

Ter baixa solubilidade em água, baixa volatilidade e alta lipofilicidade. Estas características juntas, especialmente nas primeiras aplicações, poderão fazer grande diferença no comportamento residual do produto escolhido.

Preferir utilizar os produtos com translocação sistêmica, especialmente translaminar, nos estádios fenológicos após a quarta folha expandida, pois o alvo principal passa a ser as ninfas, que só terão eficiência de controle com este tipo de ação. Para as aplicações nos primeiros estádios fenológicos, preferencialmente utilizar os produtos com ação de contato e com o máximo das características físico-químicas expostas acima. Na figura 4 são apresentados os 10 passos para o manejo da cigarrinha do milho.



Figura 4. Cartilha de boas práticas contra a cigarrinha do milho. Fonte: Crop Life Brasil e Embrapa (2021)

A utilização de inseticidas para se efetivar o manejo complementar da cigarrinha do milho exige um bom conhecimento de seus atributos técnicos, físicos e químicos, para se ter uma melhor escolha em cada momento de sua aplicação. Os resultados com estas aplicações poderão reduzir as populações em índices de campo entre 72% e 85%. Em função das frequentes e rápidas reinfestações da praga, aliado ao crescimento constante das plantas, em período de alta exposição dos produtos aos fatores abióticos de clima e, ainda seguindo as recomendações específicas das bulas de produtos, é imprescindível estabelecer

um programa estratégico de controle para se alcançar melhores resultados (Figura 5). Outro detalhe importante é a formação de “honeydew”, um “líquido açucarado”, composto basicamente por diferentes formas de açúcar, como sacarose, glicose, frutose, pequenas quantidades de açúcares múltiplos, tais como, maltose e melezitose, algumas vitaminas e ácidos orgânicos, na forma líquida e são excrementos de alguns insetos sugadores, que favorece o desenvolvimento de fungos nas folhas, que irão interferir no milho em final de ciclo.

No caso da cigarrinha do milho, as ninfas são as principais produtoras de honeydew, pois alimentam-se durante todo tempo do dia e excretam na mesma proporção de sua alimentação.

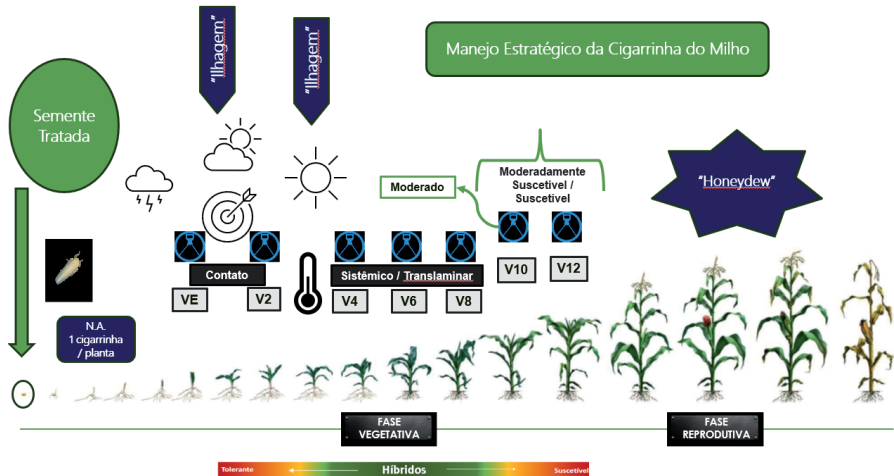


Figura 5. Estratégias para intervenção e controle da cigarrinha do milho. Fonte: Paulo Roberto Garollo

Selecionar os híbridos que possam melhor atender suas necessidades produtivas (potencial produtivo), mas levar em consideração o momento da implantação de cada área (talhão) da propriedade, correlacionando com o pico populacional da praga e seu potencial infectivo. Este planejamento trará a oportunidade do agricultor em preferir usar os materiais genéticos de maior tolerância ao complexo de enfezamento nos plantios de maior risco e manter híbridos menos tolerantes em momentos de menor risco, proporcionando maior segurança e caixa produtiva.

Aplicações complementares com inseticidas químicos e biológicos precisam estar muito bem alinhadas com as estratégias ligadas a todos os fatores que possam exercer impactos em sua eficiência.

Inicialmente deve-se respeitar intervalos de aplicação de pelo menos uma semana, independente do produto químico adotado. Também levar em consideração que os principais momentos de sua utilização permitem alta vulnerabilidade de permanência efetiva destes produtos no campo e que o próprio desenvolvimento vegetativo da planta também não “contribui” com a proteção após o terceiro/quarto dia da aplicação (devido à baixíssima quantidade de biomassa da cultura). Outro detalhe para este planejamento é que chegarão somente “cigarrinhas do milho” na fase adulta e só haverá presença de ninfas (potencialmente) a partir da quarta folha, pois o ciclo para eclosão de ovos demora de 9 a 12 dias (em média 3 a 4 folhas novas já terão expandido na planta) e não

estarão completamente protegidas pelo inseticida.

Ainda levar em consideração os hábitos migratórios da praga, infestação sistemática (bordas para dentro) e sua preferência por folhas mais novas; observar as limitações de uso das opções de produtos químicos/ciclo da cultura e ressaltar que todas as opções com ação de contato serão recomendadas, no máximo, em 2 aplicações e os sistêmicos em 2 ou 3 aplicações/ciclo (dependendo do produto comercial adotado).

Visto todos estes pontos, pode-se sugerir que o agricultor dê preferência em utilizar produtos químicos de contato nas primeiras aplicações (VE / V2 e sob monitoramento de presença de ninfas, até V4 – mas tomando o cuidado de rotacionar o modo de ação quando acima de 2 usos de contato) e nas aplicações após este período, preferencialmente os produtos com ação sistêmica, particularmente translaminar, com foco também no manejo das ninfas.

É fundamental levar em consideração que o local preferencial das ninfas na planta de milho é na face inferior das folhas (abaxial), na planta onde eclodem e que no seu monitoramento, deve-se olhar as folhas do baixeiro e não as folhas do cartucho, pois a eclosão dos ovos depositados levará tempo suficiente para ocorrência da expansão de, pelo menos, 3 novas folhas e as ninfas não se movimentarão das folhas onde eclodiram.

Até o presente momento, os neonicotinoides são os mais indicados no manejo das ninfas, pela translocação translaminar, que é característica do grupo químico, e trará maior eficiência

em seu controle, minimizando possibilidades de expansão populacional contínua da praga.

Já desde a segunda aplicação de inseticida químico, no estágio fenológico V2, será de fundamental importância a inclusão de defensivos biológicos para alcançar incremento de controle sobre a cigarrinha do milho.

Atualmente os fungos *Beauveria bassiana* e *Isaria fumosorosea* são os mais encontrados em produtos comerciais, mas a nova espécie, *Isaria javanica*, que está sendo trabalhada em conjunto a pesquisas da Embrapa para manejo da *Bemisia tabaci*, também começam a chamar atenção para estudos em *D. maidis*. Tanto para *B. bassiana*, quanto para *Isaria fumosorosea* (*Paecilomyces fumosoroseus*), estudos contínuos têm sido realizados para se detectar isolados que possam ser mais resistentes à radiação ultravioleta B e altas temperaturas.

Novas opções de biológicos estão sendo trabalhadas e já ofertadas em produtos comerciais no manejo desta praga. Exemplos disto são outros fungos, como *Metarhizium anisopliae*, que podem ser encontrados em formulações comerciais em conjunto à *B. bassiana* e/ou *I. fumosorosea*; estudos e avanços têm sido realizados na pesquisa do *Metarhizium brasiliensis* que parece ser mais agressivo, mais rápido na contaminação de insetos e mais tolerante a condições abióticas não favoráveis; e também as bactérias, como *Pseudomonas chlororaphis* e *P. fluorescens*.

Pontos importantes para aplicação de produtos biológicos

- Aplicações preferencialmente em dias nublados, ao entardecer e à noite.
- Umidade relativa do ar deve estar abaixo de 80% (acima disto, pode-se reduzir o índice de crescimento e proliferação dos fungos).
- Evitar exposição aos raios ultravioletas.
- Vento abaixo de 10 km/h.
- Após uso de fungicidas, refazer aplicação com intervalo mínimo de 3 a 5 dias.
- Considerar que produtos biológicos não oferecem residual e/ou longevidade, na essência da palavra, mas permanecem com esporos ativos (vivos, viáveis) durante o tempo que estiverem fora do alcance de raios ultravioletas.

Para se evitar estas perdas em produtividade e minimizar a ocorrência de quebraamento do colmo, é de fundamental importância o monitoramento contínuo da praga e, na ocorrência de grande população de ninfas, refazer controle com aplicação de inseticida químico e/ou biológico, fazendo pelo menos em duas aplicações e reduzir a população já existente, assim como evitar o seu incremento.

Considerações finais

Somente o uso conjunto de boas práticas agrícolas poderá maximizar o controle da cigarrinha do milho.

As aplicações de produtos deverão ser realizadas de forma estratégica, levando em consideração todas as particularidades

biológicas da praga, do ambiente, dos produtos defensivos e o desenvolvimento das plantas.

Eliminar ao máximo plantas de “milho tiguera”.

Ter foco nas boas práticas agrícolas de manejo no período crítico de transmissão dos agentes causais.

Observar através de informações de monitoramento da praga e optar por híbridos com maior nível de tolerância ao complexo do enfezamento, nos períodos de maior risco de ocorrência e transmissibilidade.

Cuidar com boa regulação de colhedoras e evitar perdas durante o processo de colheita.

Transportar o cereal em caminhões devidamente conservados, evitando perdas de grãos durante o transporte.

O monitoramento deve ser contínuo e estender até estádios fenológicos do período reprodutivo.

Agricultores devem trabalhar de forma disciplinada e em conjunto para obterem resultados satisfatórios no manejo da cigarrinha do milho; estabelecer estratégias semelhantes e trabalharem as “janelas de plantio” em períodos mais curtos, concentrados, evitando escalonamento de plantio à longo prazo.

Referências bibliográficas

Compre Rural, Agricultura. Tecnologia ajuda no controle do milho tiguera e da cigarrinha. Disponível em: <https://www.comprerural.com/tecnologia-ajuda-no-controle-do-milho-tiguera-e-da-cigarrinha/>.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2022/23 n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-76, outubro 2023. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> > Acesso em: 20 de out. 2023.

COTA, L. V.; OLIVEIRA, I. R. de; SILVA, D. D. da; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. da; SOUZA, I. R. P. de; SILVA, A. F. da. Manejo da Cigarrinha e Enfezamentos na cultura do Milho. Embrapa Milho e Sorgo: Folhetos, 2021.

ELEVAGRO. *Metarhizium anisopliae* no controle biológico de pragas. Disponível em: <https://elevagro.com/blog/metarhizium-anisopliae-no-controle-biologico-de-pragas/>. Acesso em: 11 abr. 2022.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, A. C. de.; GAMA, E. E. G. Efeitos de diferentes técnicas de despendoamento na produção de milho. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.56, n.1, p.77-82. 1999.

NEVES, T.N.; FORESTI, J.; SILVA, P.R.; ALVES, E.; ROCHA, R.; OLIVEIRA, C.; PICANÇO, M. C.; PEREIRA, E. J. Insecticide seed treatment against corn leafhopper: helping protect grain yield in critical plant growth stages. Pest Management Science, v.78, n.4, p.1482-1491, 2022.

OTEGUI, M.; ANDRADE, F. H. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. In: Westgate ME & Boote K. J. (Ed.) Physiology and modeling kernel set in maize. Madison: CSSA. p.89-102. 2000.

SILVA, C. J. da. Influência de estresses abióticos na fase reprodutiva do milho. 2005, 60p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

UHART, S. A.; ANDRADE, F. H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source and sink ratios. Crop Science, Madison, v.35, p.183-190, 1995.

Capítulo 7

MANEJO DE PULGÕES E VIROSES ASSOCIADAS NA CULTURA DO MILHO SAFRINHA

João Roberto Spotti Lopes¹, Anderson Ramos², Euclides de Sousa Vilanova³

Palavras-chave: afídeos vetores, controle, transmissão de vírus.

Resumo: A expansão do cultivo de milho em segunda safra (denominada ‘safrinha’) e a permanência da cultura no campo por longos períodos tem favorecido a ocorrência de pragas e doenças. Insetos sugadores como afídeos (pulgões) e cigarrinhas constituem exemplos de pragas cuja importância vem aumentando bastante, especialmente por serem vetores de fitopatógenos, o que amplia a gama de danos ocasionados e torna o seu manejo mais complexo. Os pulgões podem causar prejuízos significativos na cultura do milho safrinha pela transmissão de vírus e, quando em altas populações, pela intensa sucção de seiva do floema e excreção de gotículas ricas em açúcares (‘honeydew’), que se acumulam sobre o pendão e/ou estilo-estigma das espigas, podendo afetar processos reprodutivos, tais como a polinização e fertilização. Duas espécies de pulgões colonizam o milho no Brasil e estão associadas a esses danos, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) e *R. padi* (L.). O manejo de insetos

¹Engenheiro agrônomo, Doutor em Entomologia, Professor titular do Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13.418-900 – Piracicaba, SP. E-mail: jrslopes@usp.br

²Engenheiro-agrônomo, Doutor em Entomologia, Pesquisador do Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13.418-900 – Piracicaba, SP.

³Engenheiro-agrônomo, Doutorando na área de Entomologia, Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13.418-900 – Piracicaba, SP.

vetores pode envolver diferentes estratégias dependendo do seu nível populacional, da pressão de inóculo do patógeno na área, da composição do patossistema, dos modos de disseminação (primária e/ou secundária) e características da transmissão do patógeno, entre outros fatores. Este capítulo revisa o conhecimento sobre os pulgões que afetam o milho, aspectos biológicos relevantes, danos ocasionados, vírus transmitidos, e discute as estratégias de manejo. Duas abordagens distintas são apresentadas para o manejo dos pulgões, como pragas diretas e como vetores de vírus.

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais produzidos em todo o mundo, sendo direta e indiretamente uma importante fonte de segurança alimentar, além de matéria-prima para a geração de biocombustíveis (Tanumihardjo et al., 2020). O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial de milho, com cerca de 120 milhões de toneladas produzidas no ano agrícola 2022/2023 (Conab, 2023). O país vem apresentando aumentos expressivos de produção e de produtividade que se devem, principalmente, à expansão dos cultivos de segunda safra (originalmente denominados como “safrinha”), e ao desenvolvimento de híbridos adaptados a diferentes condições climáticas, o que permitiu a expansão da cultura para áreas até então pouco exploradas (por exemplo, o Cerrado) (Bahia-Filho et al., 2008). Além disso, em áreas com possibilidade de cultivo irrigado ou pluviosidade favorável, é possível ainda realizar a

terceira safra no inverno.

O cultivo do milho durante quase o ano todo, realizando-se duas ou mais safras numa mesma região, assim como a presença de plantas voluntárias (“tiguera”) de milho na entressafra, estabelece uma “ponte verde” que permite a sobrevivência de pragas e patógenos no campo. Nesse cenário, os insetos sugadores, que por muito tempo foram considerados pragas secundárias na cultura, vêm tendo importância crescente, principalmente em cultivos de segunda safra e em áreas irrigadas onde o milho é cultivado continuamente (Cruz et al., 2012). Dentre essas pragas, insetos vetores como a cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), tem se destacado e vem atingindo populações bastante elevadas, especialmente a partir da safra 2015/2016 (Oliveira e Frizzas, 2021), resultando em maiores incidências de enfezamentos e viroses.

Os afídeos (Hemiptera: Aphididae), popularmente conhecidos como pulgões e assim designados no restante deste capítulo, constituem outro grupo de insetos vetores que ganhou maior importância nos últimos anos. Além de vetores de vírus (Talamini et al., 2017), quando em altas populações os pulgões podem causar danos significativos ao milho decorrentes de sua alimentação na seiva do floema e conseqüente excreção de ‘honeydew’, que pode recobrir partes da planta, afetando processos fisiológicos ou reprodutivos (Pereira et al., 2006; Goggin et al., 2017). Em contraste com *D. maidis*, que tem sido o foco da grande maioria dos estudos nos últimos anos,

pouca atenção tem sido dada aos pulgões e aos vírus que eles transmitem na cultura. Este capítulo, portanto, busca trazer informações atualizadas sobre pulgões de ocorrência em milho, aspectos biológicos relevantes, danos ocasionados, vírus transmitidos e o manejo de pulgões e das viroses associadas

Pulgões de ocorrência em milho, reconhecimento e aspectos biológicos

Dentre as espécies de pulgões que podem visitar e transmitir vírus no milho, duas são mais comuns, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) e *R. padi* (L.), também conhecidas popularmente como pulgão-do-milho e pulgão-da-aveia, respectivamente (Pitta et al., 2007; Cruz et al., 2012). Ambas as espécies colonizam o milho, podendo ocasionar danos significativos. *R. maidis* possui o corpo alongado de coloração verde-oliva a verde-azulado e apêndices escuros, enquanto *R. padi* possui o corpo ovalado com tons de verde-amarelado ou verde-oliva, além de manchas de cor ferrugem ao redor dos sífunculos (Figura 1) (Blackman e Eastop, 2017).

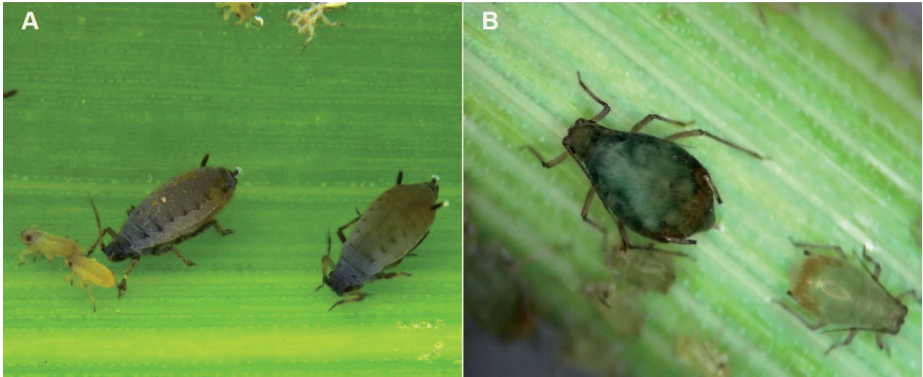


Figura 1. Ninfas e adultos do pulgão-do-milho, *Rhopalosiphum maidis* (A), e do pulgão-da-aveia, *R. padi* (B) Figura A: Euclides de Sousa Vilanova; Figura B: reproduzida com autorização de P.R.V.S. Pereira (<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/5625001/rhopalosiphum-padi>).

Os pulgões *R. maidis* e *R. padi* são polípagos, podendo se desenvolver em várias plantas hospedeiras. Muitas dessas plantas são daninhas que crescem ao lado dos campos de cultivo de milho, as quais podem servir tanto de fonte de inóculo dos vírus por eles transmitidos, quanto para manutenção de colônias dos pulgões durante o período de entressafra do milho. Além do milho, *R. maidis* pode colonizar sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, cevada, centeio e várias gramíneas não cultivadas, pertencentes a mais de 30 gêneros da família Poaceae (Blackman e Eastop, 2017). O pulgão *R. padi* apresenta uma gama de plantas hospedeiras que inclui, além de gramíneas, algumas espécies de dicotiledôneas; é um dos pulgões predominantes em trigo e outros cereais de inverno, sendo uma das principais pragas em regiões de clima temperado, de ocorrência frequente em milho

(Blackman e Eastop, 2017).

Os pulgões possuem formas áptera e alada (Figura 2). Indivíduos alados surgem devido a estímulos ambientais, como o aumento da população de pulgões e a queda na qualidade nutricional da planta hospedeira, que induzem mudanças fisiológicas no inseto (Braendle et al., 2006). Os alados abandonam a planta de origem e, por meio de voo de dispersão em correntes de vento, buscam novas plantas hospedeiras para a colonização, onde irão estabelecer uma nova colônia dando origem a indivíduos ápteros. A reprodução dos pulgões em condições de clima tropical ocorre por partenogênese telítica, ou seja, fêmeas dão origem apenas a fêmeas oriundas de óvulos não fecundados. As fêmeas são vivíparas, pois depositam na planta hospedeira ninfas, ao invés de ovos, que se desenvolveram e eclodiram no interior de seu corpo. Os pulgões *R. maidis* e *R. padi* possuem um ciclo de vida (ninfá a adulto) de cerca de 5-7 dias, e os adultos vivem cerca de 2-3 semanas, em condições de temperatura de 25°C (Asin e Pons, 2001; Maia et al., 2004; Auad et al., 2009; Razmjou e Golizadeh, 2010; Razmjou e Golizadeh, 2013). A capacidade reprodutiva desses pulgões é semelhante, sendo que cada fêmea pode gerar, em média, 34 ninfas (25°C) (Asin e Pons, 2001; Razmjou e Golizadeh, 2010; Razmjou e Golizadeh, 2013; Salman et al., 2017).

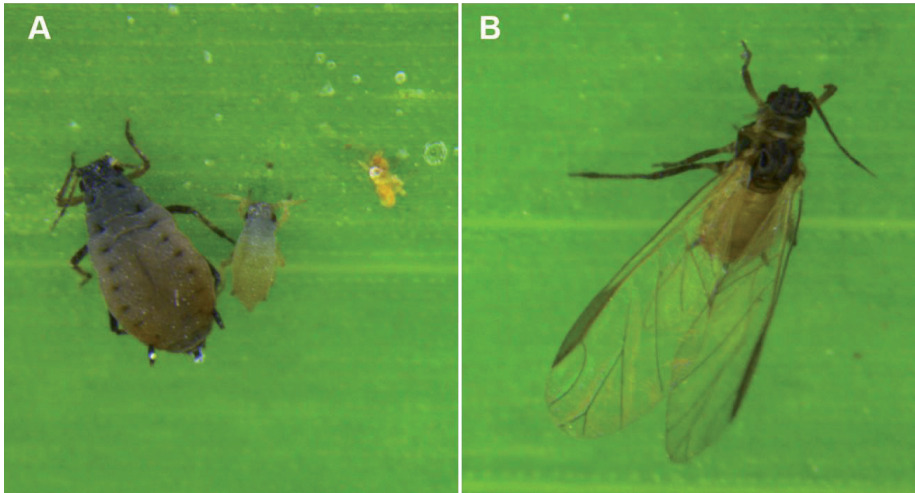


Figura 2. Formas áptera (A) e alada (B) do pulgão-do-milho, *Rhopalosiphum maidis*. Fonte: Euclides de Sousa Vilanova.

Fatores ambientais (bióticos e abióticos) regulam a população de pulgões na cultura do milho. Há vários insetos que são inimigos naturais, atuando como parasitoides ou predadores, desempenhando um importante papel no controle natural de pulgões. Dentre os parasitoides, destacam-se as vespinhas do gênero *Aphidius* spp. (Hymenoptera: Braconidae) (Cruz, 2023), cujos adultos parasitam o pulgão em sua fase de ninfa, na qual a larva da vespinha se desenvolve consumindo-o internamente. Do corpo do pulgão parasitado, popularmente conhecido como “múmia”, emerge a vespinha adulta (Figura 3) (Cruz, 2023). Predadores de diferentes grupos, tais como crisopídeos, joaninhas, sirfídeos e tesourinhas, também são inimigos naturais de pulgões na cultura do milho (Pitta e Mendes, 2021; Cruz, 2023).

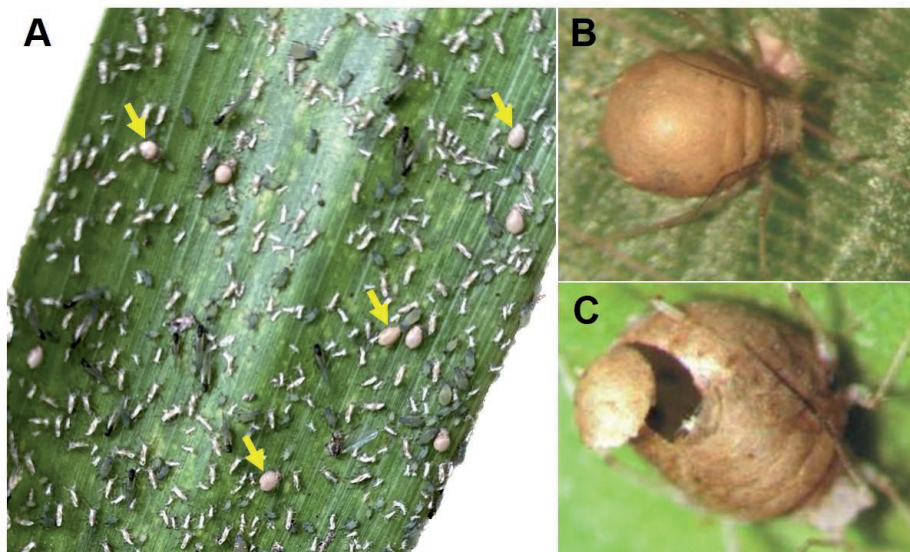


Figura 3. A) Colônia de *Rhopalosiphum maidis* com indivíduos parasitados, de coloração parda e corpo mumificado, indicados pelas setas amarelas. B) Pulgão parasitado (“múmia”) por vespinha do gênero *Aphidius*. (C) Detalhe do orifício de saída do parasitoide adulto. Foto A: João R. S. Lopes; Fotos B e C foram reproduzidas com autorização de Ivan Cruz (<http://panorama.cnpms.embrapa.br/insetos-praga/inimigos-naturais/parasitoides-de-pulgoes/vespa-aphidius-spp-hymenoptera-braconidae>).

Diferentes aspectos associados à planta hospedeira, como por exemplo, nutrição, estresse hídrico e fase fenológica podem afetar o desenvolvimento e o potencial reprodutivo dos pulgões. Os pulgões ocorrem desde o início da cultura, estabelecendo suas colônias no interior do cartucho do milho, muitas vezes passando despercebidos nas amostragens. O início da infestação é reconhecido por meio das exúvias das ninfas de pulgões, que

podem ser observadas nas folhas jovens que se expandem a partir do cartucho (Figura 4A). À medida que a planta de milho se desenvolve e chega ao final da fase vegetativa e emissão do pendão, ocorre um aumento do potencial reprodutivo dos pulgões e a colônia alcança o máximo crescimento (Figura 4B) (Maia et al., 2005). Esses insetos também são favorecidos por períodos mais secos (menos chuvas), um dos fatores que condiciona o aumento da população na safrinha, após o estágio V12 (quando diminuem as chuvas) (Pitta e Mendes, 2021). Também são influenciados por déficit hídrico e estado nutricional da planta (fertilizações nitrogenadas), pelo aumento de aminoácidos livres na seiva (Sandström e Moran, 1999; Maia

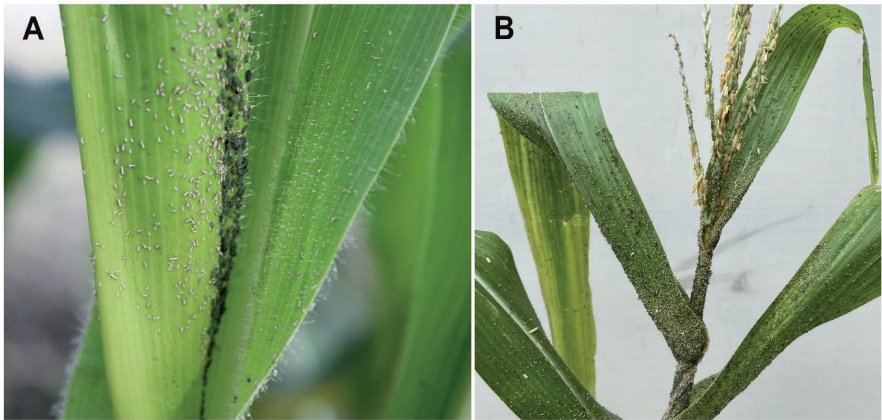


Figura 4. Plantas de milho infestadas pelo pulgão-do-milho, *Rhopalosiphum maidis*. A) Início da infestação, com formas ápteras e exúvias de ninfas visíveis na base das folhas jovens, que se expandem a partir do cartucho. B) Estágio avançado de infestação, com grande quantidade de indivíduos (ápteros e alados) colonizando diferentes estruturas da planta, como folhas (axila e limbo foliar) e pendão. Foto A: Anderson Ramos; Foto B: João R. S. Lopes.

Danos associados

Os pulgões podem causar danos diretos e indiretos na cultura do milho. Ninfas e adultos se alimentam intensamente da planta, podendo ocasionar danos diretos pela sucção de seiva do floema, drenando fotoassimilados da planta, ou pela injeção de toxinas durante a salivacão, que interferem no desenvolvimento da planta (Goggin et al., 2017). Os danos indiretos estão relacionados principalmente à transmissão de vírus (Talamini et al., 2017). Por outro lado, uma intensa excreção de 'honeydew' sobre as folhas e estruturas reprodutivas da planta pode propiciar o desenvolvimento de fumagina e afetar processos fisiológicos. Postula-se que altas populações de pulgões na fase de pendramento da planta possam reduzir a polinização, pois o 'honeydew' excretado aglutina os grãos de pólen no pendão, afetando sua dispersão. Além disso, o 'honeydew' pode recobrir o estilo-estigma da espiga, afetando a fertilização e, conseqüentemente, a formação de grãos (Pereira et al., 2006).

Em condições de campo, danos diretos e indiretos, bem como a interação com estresse hídrico, podem ocorrer simultaneamente, sendo difícil separar a contribuição de cada um destes fatores para as perdas (Pereira et al., 2006). Além disso, outros fatores também podem afetar os níveis de perdas, como o estágio fenológico do milho em que ocorre a infestação do pulgão e a densidade populacional do inseto. Um estudo com *R. maidis* indicou maiores perdas em V10-VT (28%) do que no período de R2 a R4 (16%), assim como uma relação direta

entre densidades populacionais na faixa de 100 e 3.000 pulgões por planta e os percentuais de redução na produção (Al-Eryan e El-Tabbakh, 2004). Mansour et al. (1994) estimaram perdas de até 64% para uma densidade de 3.111 pulgões/pendão.

Vírus transmitidos por pulgões em milho

Vários vírus já foram relatados em milho no Brasil (Kitajima, 2020), sendo que os principais vírus transmitidos por pulgões são o sugarcane mosaic virus (SCMV) e o maize yellow mosaic virus (MaYMV) (Gonçalves et al., 2007; Talamini et al., 2017; Gonçalves et al., 2020). As características gerais desses dois vírus, incluindo plantas hospedeiras, sintomatologia, vetores e modo de transmissão são relatadas a seguir.

- SCMV (família *Potyviridae*, gênero *Potyvirus*)

Os potivírus (gênero *Potyvirus*) caracterizam-se por filamentos flexuosos com 680-900 nm de comprimento e 11-13 nm de largura e possuem o genoma composto por RNA de fita simples e polaridade positiva. Pelo menos seis potivírus já foram identificados causando a virose conhecida como mosaico comum, que são o sugarcane mosaic virus (SCMV), maize dwarf mosaic virus (MDMV), johnsongrass mosaic virus (JGMV), sorghum mosaic virus (SrMV), pennisetum mosaic virus (PenMV) e o zea mosaic virus (ZeMV) (Shukla et al., 1992; Seifers et al., 2000; Fan et al., 2004; Redinbaugh e Zambrano, 2014; Stewart et al., 2017; Kannan et al., 2018). Desses potivírus, apenas SCMV está presente nas principais áreas produtoras de milho do Brasil, ocorrendo mais frequentemente em cultivos da

safrinha de verão semeado tardiamente (novembro-dezembro) e no milho safrinha (janeiro-fevereiro) (Talamini et al., 2017).

Os sintomas do mosaico comum aparecem 7-15 dias após a inoculação da planta, caracterizando-se por áreas cloróticas intercaladas com áreas verdes, similares a um mosaico (Figura 5A) (Kovács et al., 1994; Almeida et al., 2001; Talamini et al., 2017). A infecção causa a redução na altura e peso das plantas e no peso das espigas (Fuchs e Grüntzig, 1995). Além do milho, SCMV infecta várias outras gramíneas cultivadas (aveia, cana-de-açúcar, centeio, cevada, sorgo, trigo, etc.) e não cultivadas, incluindo espécies perenes, por exemplo, *Sorghum halepense* (L.) Pers. (capim-massambará), nas quais este vírus pode sobreviver em estruturas subterrâneas (Teakle e Grylls, 1973; Moline e Ford, 1974; Rosenkranz, 1978).

O SCMV é transmitido por várias espécies de pulgões de forma não persistente (Nonne et al., 1994), incluindo não apenas *R. maidis*, *R. padi*, que se reproduzem em milho, mas também espécies não colonizadoras que eventualmente visitam a cultura, tais como *Melanaphis sacchari* (Zehntner) e *Schizaphis graminum* (Rondani) (Singh et al., 2004; Pitta e Mendes, 2021). Nesse tipo de transmissão, que é similar a de outros potívirus, o vírus pode ser adquirido e inoculado durante picadas de prova de curta duração (segundos-minutos), que são realizadas pelo pulgão nos tecidos superficiais da planta (epiderme e parênquima) para avaliação da qualidade nutricional e presença de metabólitos secundários durante o processo de seleção da planta hospedeira (Nault, 1997; Gray e Banerjee, 1999). Ao provar células de

uma planta infectada pelo vírus, o pulgão ingere pequenas quantidades de líquidos contendo partículas virais (viriões) que aderem ao forro cuticular interno de um duto existente na extremidade distal de seus estiletos (duto comum), onde ocorre a fusão do canal salivar com o canal alimentar (Ng e Falk, 2006). A adesão dos viriões a receptores presentes no duto comum do vetor é mediada por proteínas não estruturais (que não integram o virião) codificadas pelo vírus na célula vegetal, denominadas componentes auxiliares (HC-pro) (Ng e Falk, 2006; Blanc et al., 2014). Após o pulgão realizar novas picadas de prova em uma ou mais plantas saudáveis, os viriões presentes nos seus estiletos são perdidos. Assim, nesse tipo de transmissão não persistente, o tempo de retenção do vírus no vetor é bastante curto, variando de minutos a algumas horas. Além disso, o vírus é perdido durante o processo de muda (ecdise) na fase ninfal do inseto.

- MaYMV (família *Solemoviridae*, gênero *Polerovirus*)

Os polerovírus (gênero *Polerovirus*) têm partículas virais isométricas e o genoma representado por RNA de fita simples e polaridade positiva, com 6,5 kb (Byrne et al., 2019). Maize yellow mosaic virus (MaYMV) é um polerovírus emergente no mundo, sendo relatado pela primeira vez na China infectando milho (Chen et al., 2016), e atualmente este vírus está presente em vários países da Ásia, África e América do Sul (Chen et al., 2016; Bernreiter et al., 2017; Gonçalves et al., 2017; Guadie et al., 2018; Lim et al., 2018a; Read et al., 2019; Shi et al., 2022). No Brasil, o seu primeiro relato foi no município de Casa Branca,

do estado de São Paulo (Gonçalves et al., 2017), tendo sido posteriormente detectado em outros municípios deste estado (Gonçalves et al., 2020), assim como em outros estados do país (Albuquerque et al., 2023), tanto em infecções simples quanto em infecções mistas com outros vírus e mollicutes do milho.

A sintomatologia induzida por MaYMV em milho ainda não é bem compreendida, pois sintomas distintos têm sido relatados em diferentes regiões do mundo. No Brasil, relatou-se um mosaico leve (Figuras 5B e 5C) (Gonçalves et al., 2020) ou ausência de sintomas aparentes em alguns genótipos de milho avaliados (Freire, 2023). No entanto, quando em coinfeção com SCMV e outros vírus, observou-se um mosaico mais severo com lesões necróticas (Gonçalves et al., 2020; Stewart e Willie, 2021). Na China, esse vírus foi originalmente relatado causando um mosaico amarelado ou amarelecimento foliar nas províncias de Yunnan e Guizhou (Chen et al., 2016, Wang et al., 2016). Mais recentemente, Stewart et al. (2020) na África e Shi et al. (2022) na província de Henan, China, relataram a associação de MaYMV com sintomas de avermelhamento de folhas e redução de porte da planta. As variações em sintomas têm sido atribuídas a diferenças em genótipos de milho e, possivelmente, a variantes do vírus, considerando-se que há considerável diversidade genética entre isolados deste vírus de diferentes regiões, que se agrupam em clados distintos conforme o continente de origem (Welgemoed et al., 2020, Sun et al., 2021). Cogita-se, também, que as variações em sintomas sejam resultantes de coinfeções com outros vírus (Welgemoed et al., 2020). Além disso, ainda

não são conhecidos os impactos causados na produção de milho em infecções simples ou mistas com outros vírus.

Por ser um vírus emergente, ainda faltam estudos sobre a gama de plantas hospedeiras de MaYMV. Entretanto, já existem registros de sua incidência em algumas espécies de gramíneas de importância econômica, tais como aveia, cana-de-açúcar, cevada, centeio, painço, sorgo e trigo (Yahaya et al., 2017; Lim et al., 2018b; Sun et al., 2018; Nithya et al., 2021; Guo et al., 2022; Ohlson et al., 2023). O vírus também já foi detectado em algumas gramíneas não cultivadas, tais como *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton na Nigéria (Yahaya et al. 2017) e em *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv., *Setaria viridis* (L.) e *Eleusine indica* (L.) Gaertn. na província de Henan, China (Zhang et al., 2023).

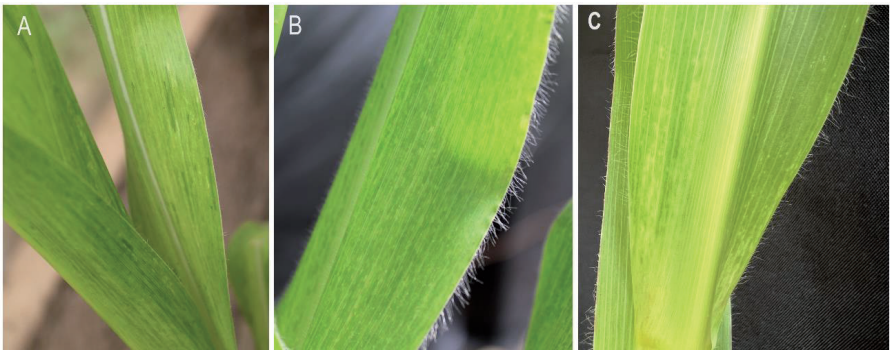


Figura 5. Sintomas foliares de mosaico comum (A), induzido por sugarcane mosaic virus (SCMV) e de mosaico amarelo (B-C), induzido por maize yellow mosaic virus (MaYMV). Fotos: Anderson Ramos.

Postula-se que a transmissão de MaYMV por pulgões

seja do tipo persistente circulativa (não propagativa), como já demonstrado para outras espécies do gênero *Polerovirus* (Nault, 1997; Gray e Banerjee, 1999). Tais vírus são de ocorrência restrita ao floema das plantas hospedeiras, sendo adquiridos ou inoculados durante períodos prolongados de alimentação (>10 min) dos pulgões nessas plantas (Nault, 1997; Gray e Banerjee, 1999). Após a aquisição no floema de plantas infectadas, tais vírus passam por um período latente no inseto vetor, que pode variar de 4-24 h. Neste período ocorre o processo de circulação do vírus no inseto, que envolve, sequencialmente, internalização das partículas de vírus em células do epitélio do tubo digestivo, passagem para a cavidade corpórea (hemocele) do inseto, internalização em células das glândulas salivares acessórias, passagem para o duto salivar e, finalmente, inoculação via saliva durante a alimentação do pulgão no floema de plantas sadias (Nault, 1997; Blanc et al., 2014).

Os poucos estudos com MaYMV demonstram a sua transmissão pelos pulgões *R. maidis*, *R. padi* e *S. graminum* (Gonçalves et al., 2020; Stewart et al., 2020; Ohlson et al., 2023). Sabe-se também que o MaYMV não é transmitido mecanicamente com carborundum (pó abrasivo) na superfície de folhas de milho (Gonçalves et al., 2020), sugerindo que sua ocorrência seja restrita ao floema (tecido mais interno) e que, à semelhança de outros polerovírus, exija um período prolongado de alimentação dos pulgões (vários minutos ou horas) para que seja adquirido ou inoculado com maior eficiência em plantas hospedeiras. Além disso, postula-se que exista um período

de latência, de pelo menos algumas horas, entre a aquisição e a inoculação. Entretanto, ainda faltam informações mais detalhadas sobre a transmissão desse vírus pelos vetores, para uma melhor caracterização da relação vírus-vetor.

Manejo de pulgões e viroses associadas

O manejo de uma praga pode variar dependendo de vários fatores. No caso de pulgões, a abordagem depende do tipo de dano associado. Assim, são apresentados fundamentos e estratégias para o manejo de pulgões como praga direta ou como vetores de vírus. No primeiro caso, a magnitude dos prejuízos causados está diretamente relacionada à população dos pulgões, por envolver danos associados à sucção de seiva ou à excreção de 'honeydew' (fumagina e efeitos sobre a polinização e/ou fertilização de espigas). Já no caso de pulgões como vetores, pode ocorrer a disseminação de vírus mesmo em baixas populações, dependendo, entre outros fatores, do nível de inóculo do vírus em pulgões alados que chegam na cultura (percentual de alados virulíferos) ou em plantas hospedeiras na área de plantio.

- Pulgões como praga direta

O manejo de pulgões como praga direta segue os princípios gerais de manejo integrado de pragas, envolvendo amostragens e tomada de decisão para o controle em função de níveis populacionais e fatores ambientais que favorecem ou não a praga. Segundo Pereira et al. (2006), sugerem-se observações periódicas de pulgões no cartucho das plantas a partir de 30

dias após a emergência da cultura até a fase de pendramento, avaliando-se 5 pontos (20 plantas/ponto) em um talhão de 10 ha, atribuindo-se as notas para cada planta:

- nota 0 (ausência de pulgões),
- nota 1 (1-100 pulgões) e
- nota 2 (mais de 100 pulgões)

Se ao final de uma amostragem for observado um nível populacional igual ou superior a 50% de plantas com nota 2 (nível de controle), sugere-se o controle dos pulgões para se evitar os danos diretos, principalmente se o tempo estiver quente e seco, condição favorável aos pulgões (Pereira et al., 2006). Por outro lado, o controle pode ser dispensado se nas amostragens forem observados inimigos naturais em abundância, como por exemplo, a ocorrência de grande número de pulgões parasitados (‘múmiás’) nas colônias.

Há vários inseticidas registrados para o controle do pulgão-do-milho, *R. maidis*, cujos ingredientes ativos são pertencentes a diferentes grupos químicos, tais como fosforados, neonicotinoides, piretroides, metilcarbamatos, feniltiouréias e diamidas (Tabela 1). Para maior eficácia de controle, deve-se aplicar os inseticidas de modo a atingir os pulgões que ficam no interior do cartucho do milho, ou utilizar produtos que apresentem ação sistêmica. Além disso, para evitar a evolução de resistência dos pulgões aos inseticidas, deve-se tomar o cuidado de promover a rotação de ingredientes ativos que possuam diferentes modos de ação, conforme classificação do

Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas (IRAC-BR) (www.ircac-br.org/modo-de-acao). O princípio de rotação de modos de ação deve se estender a todas as pragas do milho que exigem controle, inclusive aquelas que ocorrem desde os estádios iniciais, pois todos os insetos estão sujeitos à mesma pressão de seleção decorrente do uso de inseticidas (Pitta e Mendes, 2021).

Tabela 1. Inseticidas registrados para o controle do pulgão-do-milho, *Rhopalosiphum maidis*, na cultura do milho

Grupo químico	Ingrediente ativo	Modo de aplicação
Neonicotinoide	Imidacloprido	Tratamento de sementes (TS)
	Clotianidina	
	Acetamiprido	
Nicotinoide	Imidacloprido	Pulverização
	Fonicamida	
Organofosforado	Acefato	
Neonicotinoide + Metilcarbamato de oxima	Imidacloprido + Tiodicarbe	Tratamento de sementes (TS)
	Acetamiprido + Lambda-cialotrina	
Neonicotinoide + Piretroide	Acetamiprido + Alfa-cipermetrina	Pulverização
	Acetamiprido + Fenpropatrina	
	Acetamiprido + Bifentrina	
	Dinotefuram + Lambda-cialotrina	
Piretroide + Metilcarbamato de benzofuranila	Bifentrina + Carbosulfano	
Piretroide + Feniltiouréia	Bifentrina + Diafentiurom	
Piretroide + Antranilamida	Bifentrina + Clorantraniliprole	

Fonte: Agrofit (2023)

- Pulgões como vetores de vírus

No caso do manejo de viroses resultantes da ação de pulgões como vetores (dano indireto), alguns aspectos epidemiológicos relacionados à composição do patossistema e tipos de disseminação, além de características da transmissão dos vírus, devem ser considerados na definição da estratégia e dos métodos de controle.

O manejo das viroses exige o conhecimento dos elementos constituintes do patossistema, tais como espécies virais, plantas hospedeiras, espécies vetoras e condições ambientais, bem como de suas interações, que condicionam os processos de disseminação primária e secundária dos patógenos. A disseminação primária ocorre a partir de fontes de inóculo externas, por meio de pulgões que chegam aos campos de cultivo já carregando o vírus (alados virulíferos), podendo inocular plantas de milho em seus estádios iniciais de desenvolvimento. Já a disseminação secundária ocorre por meio de pulgões que adquirem o vírus em plantas de milho infectadas no interior do cultivo (previamente inoculadas no processo de disseminação primária) e o transmite para novas plantas saudáveis dentro do mesmo cultivo.

Após a transmissão por pulgões, as infecções de vírus em genótipos suscetíveis de milho são sistêmicas e incuráveis. Assim, a maioria dos métodos de controle aplicáveis são preventivos, envolvendo principalmente medidas culturais que busquem minimizar o inóculo de vírus presente na área de plantio, ou a resistência da planta ao patógeno. A utilização de

genótipos de milho resistentes ou moderadamente resistentes aos vírus, quando disponíveis, é uma das ferramentas mais eficazes para reduzir as perdas de produção, principalmente as decorrentes de infecções primárias, que ocorrem nos estádios iniciais da cultura e que geralmente resultam em maiores prejuízos.

Dependendo das características de transmissão, a redução na população dos pulgões também pode contribuir no manejo das viroses. No caso do SCMV, que possui transmissão do tipo não persistente, podendo ser adquirido ou inoculado muito rapidamente (em questão de segundos ou poucos minutos) durante as picadas de prova na epiderme da planta de milho, sem a existência de um período latente entre a aquisição e a inoculação, a ação de inseticidas é geralmente ineficaz para impedir a transmissão nos processos de disseminação primária ou secundária. Já no caso de MaYMV, que é um vírus aparentemente de floema e de transmissão do tipo persistente, que exige períodos de vários minutos a horas para aquisição e inoculação pelo vetor, a utilização de inseticidas pode ser uma ferramenta útil para reduzir a transmissão, principalmente no processo de disseminação secundária, considerando-se que a transmissão de tal vírus deve envolver um período latente no vetor, de pelo menos algumas horas, após a sua aquisição em plantas infectadas do mesmo cultivo. Entretanto, ainda são necessários estudos para confirmar se MaYMV é de fato restrito ao floema (como outros polerovírus) e se a sua transmissão por pulgões pode ser afetada pela aplicação de inseticidas.

Para ambos os vírus, a disseminação primária é a que apresenta maior dificuldade de controle por meio de inseticidas, uma vez que o período de contato do inseto com o produto químico e o tempo de ação para que ocorra mortalidade é geralmente mais longo do que o necessário para a inoculação de plantas saudias por alados virulíferos que pousam na cultura, oriundos de fontes externas.

Assim, o controle da disseminação primária deve envolver principalmente métodos culturais direcionados a reduzir as fontes externas de vetores e de inóculo do patógeno, em nível regional. Nesse sentido, deve-se: a) erradicar, nas proximidades do cultivo, tigueras de milho e plantas daninhas que possam atuar, na entressafra ou nos cultivos de verão, como reservatórios de inóculo de SCMV e MaYMV e/ou que sejam hospedeiras de pulgões, principalmente das espécies vetoras que colonizam o milho, *R. maidis* e *R. padi*; b) evitar plantios de milho fora das épocas recomendadas para cada região; c) evitar plantios escalonados - sempre que possível, sincronizar a semeadura do milho em uma mesma área de produção; e d) promover rotação de culturas com espécies vegetais não hospedeiras desses vírus, preferencialmente não gramíneas.

Considerações finais

Os prejuízos decorrentes de danos diretos e indiretos relacionados aos pulgões podem ser bastante significativos na cultura de milho safrinha, por uma conjunção de fatores, tais como condições climáticas favoráveis (tempo quente e mais

seco) à multiplicação dos pulgões, sucessão de cultivos de milho e disponibilidade de diversas plantas hospedeiras que são reservatórios de pulgões e dos vírus transmitidos por esses insetos, incluindo o milho tiguera, em períodos que antecedem o cultivo da safrinha.

Os danos diretos podem ser minimizados com o monitoramento dos pulgões e de seus inimigos naturais até a fase de pendoamento, e eventual pulverização com inseticidas se ocorrerem altas populações da praga, especialmente na fase de pré-pendoamento. Entretanto, o controle químico dificilmente impede a disseminação de vírus por pulgões que causam os mosaicos comum (SCMV) e amarelo (MaYMV) do milho.

Visando ao manejo de viroses associadas aos pulgões, é necessário a integração de diversas medidas de controle que, se tomadas isoladamente, podem não ser eficazes. Várias medidas culturais que busquem reduzir fontes externas de pulgões e de inóculo dos vírus devem ser implementadas antes do plantio, em nível regional, para evitar a disseminação primária por pulgões alados que chegam à cultura, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento, quando a planta do milho é mais suscetível às infecções virais e os prejuízos decorrentes são maiores. Especialmente em regiões com maiores populações de pulgões e pressão de inóculo de vírus, é fundamental o plantio de genótipos de milho resistentes ou moderadamente resistentes. Na colheita, recomenda-se o uso de máquinas bem reguladas e o transporte dos grãos em caminhões adequados, para reduzir o problema com o milho tiguera.

Para aprimorar a implementação das diversas medidas de manejo, é necessário um esforço da pesquisa no sentido de compreender a ecologia das viroses (plantas hospedeiras, fontes de inóculo e interações com outros patógenos) e seu impacto na produção de milho, bem como desenvolver híbridos mais resistentes aos vírus e métodos práticos para diagnose e detecção das infecções virais. Finalmente, é importante o envolvimento dos agentes de extensão para esclarecer aos produtores a importância de se conhecer e manejar adequadamente os pulgões e as viroses associadas, juntamente com outras pragas e patógenos do milho.

Referências bibliográficas

AGROFIT - Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). 2023. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofitcons/principalagrofitcons>. Acesso em 13 dez. 2023.

ALBUQUERQUE, M. R. M.; AMARAL, D. S.; NASCIMENTO, S. C.; HORA JÚNIOR, B. T.; CAMARGO, M. P.; STOCK, V. M.; SCHUSTER, I. M.; SILVA, F. N. Levantamento de espécies virais associadas ao milho em diferentes regiões produtoras do Brasil. In: 53º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2023. Brasília - DF. Anais do 53º Congresso Brasileiro de Fitopatologia. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2023. p. 686.

AL-ERYAN, M. A. S.; EL-TABBAKH, S. SH. Forecasting yield of corn, *Zea mays* infested with corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis*. Journal of applied entomology, v. 128, n. 4, p. 312-315, 2004.

ALMEIDA, A. C. L.; OLIVEIRA, E.; RESENDE, R. O. Fatores relacionados à incidência e disseminação do vírus do mosaico comum do milho. *Fitopatologia Brasileira*, v. 26, p. 766-769, 2001.

AQUEEL, M. A.; LEATHER, S. R. Effect of nitrogen fertilizer on the growth and survival of *Rhopalosiphum padi* (L.) and *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae) on different wheat cultivars. *Crop Protection*, v. 30, n. 2, p. 216-221, 2011.

ASIN, L.; PONS, X. Effect of high temperature on the growth and reproduction of corn aphids (Homoptera: Aphididae) and implications for their population dynamics on the northeastern Iberian peninsula. *Environmental Entomology*, v. 30, n. 6, p. 1127-1134, 2001.

AUAD, A. M.; ALVES, S. O.; CARVALHO, C. A.; SILVA, D. M.; RESENDE, T. T.; VERÍSSIMO, B. A. The impact of temperature on biological aspects and life table of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) fed with signal grass. *Florida Entomologist*, v. 92, n. 4, p. 569-577, 2009.

BAHIA-FILHO, A. F. C.; GARCIA, J. C.; PARENTONI, S. N.; SANTANA, D. P.; CRUZ, J. C.; SCHAFFERT, R. E. Impulsionando a produção e a produtividade de milho e sorgo, no Brasil. In *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*, eds. Albuquerque, A. C. S., and Silva, A. G. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 125-162.

BERNREITER, A.; TEIJEIRO, R. G.; JARRIN, D.; GARRIDO, P.; RAMOS, L. First report of Maize yellow mosaic virus infecting maize in Ecuador. *New Disease Reports*, v. 36, n. 11, p. 2044-0588.2017, 2017.

BLANC, S.; DRUCKER, M.; UZEST, M. Localizing viruses in their insect vectors. Annual review of phytopathology, v. 52, p. 403-425, 2014.

BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. F. Taxonomic issues. In: EMDEN, H. F. van; HARRINGTON, R. (Eds.) Aphids as crop pests. Wallingford UK: CABI, 2017. p.1-36.

BRAENDLE, C.; DAVIS, G. K.; BRISSON, J. A.; STERN, D. L. Wing dimorphism in aphids. *Heredity*, v. 97, n. 3, p. 192-199, 2006.

BYRNE, M. J.; STEELE, J. F.; HESKETH, E. L.; WALDEN, M.; THOMPSON, R. F.; LOMONOSSOFF, G. P.; RANSON, N. A. Combining transient expression and cryo-EM to obtain high-resolution structures of luteovirid particles. *Structure*, v. 27, n. 12, p. 1761-1770, 2019.

CHEN, S.; JIANG, G.; WU, J.; LIU, Y.; QIAN, Y.; ZHOU, X. Characterization of a novel polerovirus infecting maize in China. *Viruses*, v.8, n.5, p.120, 2016.

CONAB, 2023 – Companhia Nacional de Abastecimento Acesso em 20 de novembro de 2023 < https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/50041_d88c251198bcf179946b667d192dc1b5>.

CRUZ, I.; MENDES, S. M.; AND VIANA, P. A. Importância econômica e manejo de insetos sugadores associados à parte aérea de plantas de milho Bt. *Circulares Técnicas Embrapa*. 175:1-14, 2012.

CRUZ, I. Panorama fitossanitário da cultura do milho: insetos pragas e seus inimigos naturais. Disponível em: <http://panorama.cnpms.embrapa.br/insetos-praga>. Acesso em 13 dez. 2023.

FAN, Z. F.; WANG, W. J.; JIANG, X.; LIANG, X. M.; WANG, F. R.; LI, H. F. Natural infection of maize by Pennisetum mosaic virus in China. *Plant pathology*, v.53, n.6, 2004.

FREIRE, C. F. Características da transmissão de maize yellow mosaic virus (gênero *Polerovirus*) por afídeos (Hemiptera: Aphididae) em milho (*Zea mays* L.). 2023. 74p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

FUCHS, E.; GRÜNTZIG, M. Influence of sugarcane mosaic virus (SCMV) and maize dwarf mosaic virus (MDMV) on the growth and yield of two maize varieties. *Journal of plant diseases and protection*. v.102(1), p.44-50, 1995.

GOGGIN, F. L.; QUISENBERRY, S. S.; XinZhi, N. Feeding injury. In: EMDEN, H. F. van; HARRINGTON, R. (Eds.) *Aphids as crop pests*. Wallingford UK: CABI, 2017. p.303-322.

GONÇALVES, M. C.; MAIA, I. D. G.; GALLETI, S. R.; FANTIN, G. M. Mixed infection by Sugarcane mosaic virus and Maize rayado fino virus causing breaking yields in maize in São Paulo state. *Summa Phytopathologica*, v.33, p. 348-352, 2007.

GONÇALVES, M. C.; GODINHO, M.; ALVES-FREITAS, D. M. T.; VARSANI, A.; RIBEIRO, S. G. First report of maize yellow mosaic virus infecting maize in Brazil. *Plant disease*, v.101, n.12, p.2156, 2017.

GONÇALVES, M. C.; RAMOS, A.; NASCIMENTO, T.; HARAKAVA, R.; DUARTE, A. P.; LOPES, J. R. Aphid transmission of maize yellow mosaic virus: an emerging polerovirus. *Tropical Plant Pathology*, v.45, p.544-549, 2020.

GRAY, S. M.; BANERJEE, N.. Mechanisms of arthropod transmission of plant and animal viruses. *Microbiology and molecular biology reviews*, v.63, n.1, p.128-148, 1999.

GUADIE, D.; ABRAHAM, A.; TESFAYE, K.; WINTER, S.; MENZEL, W.; KNIERIM, D. First report of maize yellow mosaic virus infecting maize (*Zea mays*) in Ethiopia. *Plant Disease*, v.102, n.5, p.1044-1044, 2018.

GUO, M.; YUAN, X.; SONG, Y.; LIU, Y.; WANG, X. First Report of Maize Yellow Mosaic Virus (MaYMV) Naturally Infecting Wheat in China. *Plant Disease*, v.106, n.10, 2763, 2022.

KANNAN, M.; ISMAIL, I.; BUNAWAN, H. Maize dwarf mosaic virus: From genome to disease management. *Viruses*, v.10, n.9, p.492, 2018.

KOVÁCS, G.; GÁBORJÁNYI, R.; TOLDI, E. Inheritance of resistance to maize dwarf mosaic virus and sugarcane mosaic virus in maize. *Cereal Research Communications*, p.361-368, 1994.

LIM, S.; YOON, Y.; JANG, Y. W.; BAE, S.; LEE, Y. H.; LEE, B. C. First report of maize yellow mosaic virus on *Zea mays* in South Korea. *Plant disease*, v.102, n.9, p.1864-1864, 2018a.

LIM, S.; YOON, Y.; JANG, Y. W.; BAE, D. H.; KIM, B. S.; MAHARJAN, YI, H.; BAE, S.; LEE, Y.-H.; LEE, B. C.; PARK, C.-Y.; LEE, S.-H.; MOON, J. S. First report of Maize yellow mosaic virus infecting *Panicum miliaceum* and *Sorghum bicolor* in South Korea. *Plant Disease*, v.102, n.3, p.689-689, 2018b.

MAIA, W. J. M.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. Influência da temperatura no desenvolvimento de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) em condições de laboratório. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, p. 521-529, 2004.

MAIA, W. J. M. S.; CRUZ, I.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B.; WAQUIL, J. M.; PINHO, R. G. V.; CARVALHO, S. P.; MAIA, T. J. A. F.; LOUREIRO, I. Efeito do estágio fenológico do milho (*Zea mays* L.) sobre a infestação pelo pulgão *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v. 4, n. 3, p. 308-315, 2005.

MAIA, W. J. M. S.; LOUZADA, J. N. C.; CRUZ, I.; ECOLE, C. C.; MAIA, T. J. A. F. Efeito da umidade do solo na biologia de *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v. 5, n. 1, p. 37-47, 2006.

MANSOUR, M. H.; SALEM, N. Y.; AMR, E. M.; SALEM, H. A. Injury levels and yield loss model for the corn aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) on corn, *Zea mays* (L.). *Bull. Entomol. Soc. Egypt*, v. 72, p. 217-227, 1994.

MOLINE, H. E.; FORD, R. E. Sugarcane mosaic virus infection of seedling roots of *Zea mays* and *Sorghum halepense*. *Physiological Plant Pathology*, v.4, n.2, p.197-207, 1974.

NAULT, L. R. Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Annals of the entomological Society of America*, v.90, n.5, p.521-541, 1997.

NG, J. C. K.; FALK, B. W. Virus-vector interactions mediating nonpersistent and semipersistent transmission of plant viruses. *Annual review of phytopathology*, v. 44, p. 183-212, 2006.

NITHYA, K.; VISHNUVARDHAN, J.; BALASARAVANAN, S.; VISHALAKSHI, D.; KAVERINATHAN, K.; VISWANATHAN, R. First report of Maize yellow mosaic virus (MaYMV) infecting sugarcane in India and its molecular characterization. *Australasian Plant Pathology*, v.50, p.633-638, 2021.

NOONE, D. F.; SRISINK, S.; TEAKLE, D. S.; ALLSOPP, P. G.; TAYLOR, P. W. J. Ability to transmit sugarcane mosaic virus and seasonal phenology of some aphid species (Hemiptera: Aphididae) in the Isis and Bundaberg districts of Queensland. *Australian Journal of Entomology*, v.33(1), p.27-30, 1994.

OHLSON, E. W.; KHATRI, N.; WILSON, J. R. Experimental host and vector ranges of the emerging maize yellow mosaic polerovirus. *Plant Disease*, 2023.

OLIVEIRA, C. M.; FRIZZAS, M.; R. Eight decades of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera, Cicadellidae) in Brazil: what we know and what we need to know. *Neotropical Entomology*, v. 51, n. 1, p. 1-17, 2022.

PEREIRA, P. D. S.; SALVADORI, J. R.; FIGUEIREDO, A.; FURIATTI, R. S. Ocorrência do pulgão-do-milho *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856): identificação, biologia e danos, 2006. *Circulares Técnicas Embrapa*. 200. 2012.

PITTA, R. M.; DUARTE, A. P.; JUNIOR, A. L. B.; YUKI, V. A. Dinâmica populacional de afídeos em cultivares de milho safrinha e influência sobre seus parasitoides. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.2, p.131-139, 2007.

PITTA, R. M.; MENDES, S. M. Biologia, hospedeiros e manejo de pulgões em milho. In: Duarte, A. P.; Tsunechiro, A.; Freitas, R. S. (Eds.). 3 décadas de inovações na cultura do milho safrinha: avanços e desafios. Campinas - SP: Instituto Agrônomo, 2021. p.235-252.

RAZMJOU, J.; GOLIZADEH, A. Performance of corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Homoptera: Aphididae) on selected maize hybrids under laboratory conditions. *Applied Entomology and Zoology*, v.45, n.2, p.267-274, 2010.

RAZMJOU, J.; GOLIZADEH, A. The effect of wheat cultivars on biological attributes of bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae). *Journal of Crop Protection*, v. 2, n. 3, p. 331-341, 2013.

READ, D. A.; FEATHERSTONE, J.; REES, D. J. G.; DAWN THOMPSON, G.; ROBERTS, R.; FLETT, B. C.; MASHINGAIDZE, K.; BERGER, D.K.; WELGEMOED, T.; PIETERSEN, G.; SCHULZE, S.E.; KIULA, B.; KULLAYA, A.; EMBEGA E. First report of maize yellow mosaic virus (MaYMV) on maize (*Zea mays*) in Tanzania. *Journal of Plant Pathology*, v.101, p.203-203, 2019.

REDINBAUGH, M. G.; ZAMBRANO, J. L. Control of virus diseases in maize. *Advances in virus research*, v.90, p.391-429, 2014.

ROSENKRANZ, E. Grasses native or adventive to the United States as new hosts of maize dwarf mosaic and sugarcane mosaic viruses. *Phytopathology* v.68, p.175-179, 1978.

SALMAN, A. M. A.; DESOKY, A. S. S.; ABD-EL-SAMEA, S. A.; MA, M. Y. Some biological aspects of *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) reared on five corn hybrids under laboratory conditions. *Archives of Advanced Sciences*, v.1, n.3, 1-5, 2017.

SANDSTRÖM, J.; MORAN, N. How nutritionally imbalanced is phloem sap for aphids?. In: SIMPSON, S. J.; MORDUE, A. J.; HARDIE, J. (Eds.). *Proceedings of the 10th International Symposium on Insect-Plant Relationships. Series Entomologica*. Dordrecht Springer: Elsevier, 1999. p. 203-201.

SEIFERS, D. L.; SALOMON, R.; MARIE-JEANNE, V.; ALLIOT, B.; SIGNORET, P.; HABER, S.; LOBODA, A.; ENS, W.; SHE, Y.-M.; STANDING, K. G. Characterization of a novel potyvirus isolated from maize in Israel. *Phytopathology*, v.90, n.5, p.505-513, 2000.

SHI, Y. J.; HAN, X. Y.; LI, Q. L.; LIU, X. M.; YANG, L. L.; WANG, H.; JIANG X. L.; LI, H.L.; YANG, X.; SHI, Y. First report of maize yellow mosaic virus causing maize reddening in Henan, China. *Plant Disease*, v.106, n.12, p.3220, 2022.

SHUKLA, D. D.; FRENKEL, M. J.; MCKERN, N. M.; WARD, C. W.; JILKA, J.; TOSIC, M.; FORD, R. E. Present status of the sugarcane mosaic subgroup of potyviruses. In: Barnett, O.W. (Eds.). *Potyvirus Taxonomy*. Springer Vienna, 1992, p. 363-373.

SINGH, B. U.; PADMAJA, P. G.; SEETHARAMA, N. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: a review. *Crop Protection*, v. 23, n. 9, p. 739-755, 2004.

STEWART, L. R.; WILLIE, K.; WIJERATNE, S.; REDINBAUGH, M. G.; MASSAWE, D.; NIBLETT, C. L.; KIGGUNDU, A.; ASIIMWE, T. Johnsongrass mosaic virus contributes to maize lethal necrosis in East Africa. *Plant disease*, v.101, n.8, p.1455-1462, 2017.

STEWART, L. R.; TODD, J.; WILLIE, K.; MASSAWE, D.; KHATRI, N. A recently discovered maize polerovirus causes leaf reddening symptoms in several maize genotypes and is transmitted by both the corn leaf aphid (*Rhopalosiphum maidis*) and the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*). *Plant disease*, v.104, n.6, p.1589-1592, 2020.

STEWART, L. R.; WILLIE, K. Maize yellow mosaic virus interacts with maize chlorotic mottle virus and sugarcane mosaic virus in mixed infections, but does not cause maize lethal necrosis. *Plant Disease*, v.105, n.10, p.3008-3014, 2021.

SUN, S. R.; CHEN, J. S.; YANG, J.; HUANG, X. C.; HUANG, M. T.; GAO, S. J. First report of Maize yellow mosaic virus infecting sugarcane in China. *Plant Disease*, v.103, n.9, p.2482, 2019.

TALAMINI, V.; SABATO, E.O.; OLIVEIRA, F.A. Viroses na cultura do milho. In: Oliveira, C.M.; Sabato, E.O. (Eds.). *Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus*. Embrapa: Brasília, Brasil, 2017, v.1, p. 243-252.

TANUMIHARDJO, S. A.; MCCULLEY, L.; ROH, R.; LOPEZ-RIDAURA, S.; PALACIOS-ROJAS, N.; GUNARATNA, N. S. Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security*, v. 25, p. 100327, 2020.

TEAKLE, D. S.; GRYLLS, N. E. Four strains of sugarcane mosaic virus infecting cereals and other grasses in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.24, n.4, p.465-477, 1973.

WANG F.; ZHOU, B. G.; GAO, Z. L.; Xu, D. F. A new species of the genus polerovirus causing symptoms similar to maize yellow dwarf virus-rmv of maize in China. *Plant Disease*, v.100(7), p.1508, 2016.

WELGEMOED, T.; PIERNEEF, R.; READ, D. A.; SCHULZE, S. E.; PIETERSEN, G.; BERGER, D. K. Next generation sequencing reveals past and current widespread occurrence of maize yellow mosaic virus in South Africa. *European Journal of Plant Pathology*, v.158(1), p.237-249, 2020.

YAHAYA, A.; AL RWAHNIH, M.; DANGORA, D. B.; GREGG, L.; ALEGBEJO, M. D.; LAVA KUMAR, P.; ALABI, O. J. First report of maize yellow mosaic virus infecting sugarcane (*Saccharum* spp.) and itch grass (*Rottboellia cochinchinensis*) in Nigeria. *Plant Disease*, v. 101, n. 7, p. 1335-1335, 2017.

ZHANG, Y. Y.; WANG, H.; JIANG, X. L.; YANG, X.; LIU, X. M.; WANG, Y. F.; LIU, Q. Y.; LI, H. L.; YUAN, H. X.; Shi, Y. First Report of Maize Yellow Mosaic Virus on Weed Hosts in China. *Plant Disease*, v.107:12, p. 4036, 2023.

Capítulo 8

RESULTADOS SUMARIZADOS DOS ENSAIOS COOPERATIVOS: FUNGICIDAS FOLIARES NO CONTROLE DE MANCHAS E FERRUGENS DO MILHO SAFRINHA DE 2023

Adriano Augusto de Paiva Custódio¹, Dagma Dionísia da Silva², Carlos Mitinori Utiamada³, Hércules Diniz Campos⁴, Rodrigo Vêras da Costa⁵, Lucas Henrique Fantin⁶, Karla Braga⁷, Marcelo Giovanetti Canteri⁸, Gisèle Maria Fantin⁹, Inês Fumiko Ubukata Yada¹⁰

Palavras-chave: *Zea mays*, doença foliar, rede nacional de pesquisa.

Resumo: Acompanhando o crescimento na produtividade da cultura do milho safrinha, fatores de ordem biótica passaram de “pouco importantes” a ameaças à produção sustentável-econômica da cultura. Reduções de produtividade associadas às doenças foliares como a mancha de bipolaris, mancha de túrcicum e mancha branca têm ocorrido de forma endêmica nas principais regiões produtoras do Brasil. A frequência do uso de fungicidas em lavouras comerciais de milho grão no Brasil tem aumentado nos últimos anos. Este aumento foi proporcionado pela necessidade de garantir que o potencial produtivo dos híbridos possa ser alcançado, aos altos preços do milho grão no mercado internacional, aos altos níveis de severidade de doenças, devido aos resíduos da palhada originários de práticas conservacionistas do solo, à presença constante da

¹ Engenheiro Agrônomo, DSc., Pesquisador em fitopatologia, IDR-Paraná, Londrina-PR, custodio@idr.pr.gov.br

² Engenheira Agrônoma, DSc., Pesquisadora em fitopatologia, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, dagma.silva@embrapa.br

³ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador em fitopatologia, TAGRO, Londrina-PR, carlos.utiamada@tagro.com.br

⁴ Engenheira Agrônoma, DSc., Professor em fitopatologia, UniRV/Campos Pesquisa Agrícola, Rio Verde-GO, herculesdinizcampos@gmail.com

⁵ Engenheiro Agrônomo, DSc., Pesquisador em fitopatologia, Embrapa Milho e Sorgo, Palmas-TO, rodrigo.veras@embrapa.br

⁶ Engenheiro Agrônomo, DSc., Pesquisador em fitopatologia, Fundação Chapadão, Chapadão do Sul-MS, lucasfantin@fundacaochapadao.com.br

⁷ Engenheira Agrônoma, DSc., Pesquisadora em fitopatologia, Fundação Chapadão, Chapadão do Sul-MS, karlabraga@fundacaochapadao.com.br

⁸ Engenheiro Agrônomo, DSc., Professor em fitopatologia, UEL, Londrina-PR, canteri@uel.br

⁹ Engenheira Agrônoma, DSc., Pesquisadora em fitopatologia, APTA/Instituto Biológico, Campinas-SP, gisele.fantin@sp.gov.br

¹⁰ Matemática, MSc., Especialista em estatística e experimentação agrícola, IDR-Paraná, Londrina-PR, inesyada@idr.pr.gov.br

cultura no campo e à disponibilidade de novos fungicidas por companhias químicas. Diante do aumento da pressão de doenças foliares do milho, após a semeadura, a principal opção de controle é o uso de fungicidas. Devido à necessidade de preservar os princípios ativos disponíveis e fornecer dados que possibilitem o manejo químico eficiente de doenças foliares, uma rede de pesquisa avalia de forma cooperativa a eficiência de fungicidas foliares em diversas regiões do Brasil, com foco no milho safrinha. Neste capítulo buscou-se i) relatar as principais manchas foliares e ferrugens do milho brasileiro presentes nos ensaios cooperativos; e ii) divulgar os resultados de eficiência de controle para doenças foliares e a produtividade do milho safrinha de 2023. De forma geral, o aumento da severidade de doenças foliares resultou em redução na produtividade e o uso dos fungicidas foliares possibilitou a manutenção do potencial produtivo do milho.

Introdução

O milho (*Zea mays*) é utilizado principalmente para composição de rações para animais, consumo humano e geração de etanol. Estados Unidos, China e Brasil são responsáveis por aproximadamente 65% da produção mundial. No entanto, apenas o Brasil é capaz de cultivar o milho em três safras consecutivas em um mesmo ano, tendo a primeira safra (safra de verão), a segunda safra (safrinha) e a terceira safra (safra do nordeste brasileiro). Além disso, as projeções do agronegócio do milho são de expansão no país nas próximas décadas, impulsionada pela segunda safra.

O potencial produtivo das lavouras de milho é fortemente influenciado pela ocorrência de epidemias de doenças foliares, especialmente em híbridos suscetíveis (Mueller et al., 2013; Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016). Devido, sobretudo, ao aumento dos cultivos consecutivos, notadamente de safrinha, epidemias de manchas foliares e ferrugens, as quais podem ocorrer simultaneamente, se tornaram frequentes, havendo também distribuição mais generalizada dessas doenças em lavouras, limitando a produção sustentável do milho (Custódio et al., 2019; Custódio et al., 2020).

A resistência genética é a mais efetiva e utilizada medida de controle das doenças do milho (Mueller et al., 2013; Wise et al., 2016). No entanto, embora altos níveis de resistência às principais doenças foliares possam ser encontrados entre os híbridos comerciais, raramente um híbrido apresentará resistência a todas elas, que ainda podem ocorrer nos diferentes estádios fenológicos da cultura, justificando medidas adicionais de controle.

A frequência do uso de fungicidas em lavouras comerciais de milho no Brasil tem aumentado nos últimos anos, sendo hoje o segundo maior mercado nacional de produtos, estimado em 349 milhões de dólares por ano (Spark, 2020). No Estado do Mato Grosso, maior produtor nacional do cereal, é realizada, em média, 1,7 pulverização na cultura do milho, o que gera um custo para o produtor ao redor de 23 dólares por hectare (Spark, 2020). Além da manutenção do potencial produtivo dos híbridos comercializados, desde 2007, o aumento do uso

de fungicidas em lavouras ocorreu devido aos altos preços de *commodities* do milho no mercado internacional, altos níveis de severidade em campo, favorecidos por resíduos da palhada originários de práticas conservacionistas do solo, presença constante da cultura no campo e o aumento da disponibilidade de produtos por companhias químicas (Mueller et al., 2013).

Após a semeadura da cultura, o principal recurso no controle de doenças foliares do milho safrinha em híbridos suscetíveis é o uso de fungicidas, uma realidade no Brasil (Custódio et al., 2020). Nos principais estados produtores de milho, como Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso, este é um dos mais importantes métodos de controle empregados para proteger os híbridos das doenças foliares nos estádios vegetativos e reprodutivos. Portanto, é fundamental determinar a eficiência de controle das doenças foliares pelos fungicidas recomendados para manutenção de produtividade.

Este capítulo objetivou i) relatar as principais manchas foliares e ferrugens do milho presentes nos ensaios cooperativos; e ii) divulgar os resultados de eficiência de controle de doenças foliares e a manutenção de produtividade do milho safrinha de 2023. O foco principal tem sido melhorar, no campo da fitopatologia, a eficiência produtiva e a sustentabilidade do agronegócio do milho brasileiro.

Manchas foliares e ferrugens do milho

Até o início dos anos 90, as doenças foliares ocasionadas por manchas e ferrugens apresentavam pouca importância na cultura do milho no Brasil. Reduções de produtividade eram

geralmente associadas a outros fatores, como insetos-praga, práticas culturais ou sementes não melhoradas, conforme Pinto (1980). Os prejuízos causados por estas doenças aumentaram concomitantemente aos avanços nas técnicas de produção, impulsionados principalmente pela expansão da fronteira agrícola, ampliação das épocas de semeadura (primeira, segunda e terceira safra), semeaduras sucessivas, cultivo mínimo e sistema plantio direto, cultivos irrigados, entre outros (Carvalho et al., 2016).

Nos dias de hoje, diversas doenças em parte aérea das plantas são registradas acometendo a cultura do milho brasileiro durante todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento e sob diferentes níveis de resistência dos materiais. Dentre as mais encontradas nos ensaios da rede cooperativa, controladas por fungicidas foliares, existem sete doenças foliares (Figura 1). Pode-se citar a mancha de *Bipolaris* (*Bipolaris maydis* (Y. Nisik. & C. Miyake) Shoemaker, 1959), a helmintosporiose comum ou mancha de túrcicum (*Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, 1974), mancha branca (*Phaeosphaeria maydis* (P. Henn.) Rane, Payak & Renfro, 1965) ou *Pantoea ananatis* corrig. (Serrano, 1928) Mergaert et al., 1993), mancha de cercóspora (*Cercospora* spp.), mancha de macróspora (*Stenocarpella macrospora* (Earle) Sutton, 1980), ferrugem políssora (*Puccinia polysora* Underw., 1897) e a ferrugem comum (*Puccinia sorghi* Schw.) (Casela et al., 2006; Cota et al., 2013; Custódio et al., 2019b).

A importância de cada uma dessas doenças foliares é variável dependendo de cada safra, região de cultivo e híbrido

(Casela et al., 2006). Portanto, não é adequado afirmar que alguma delas seja de maior relevância econômica em relação às demais.

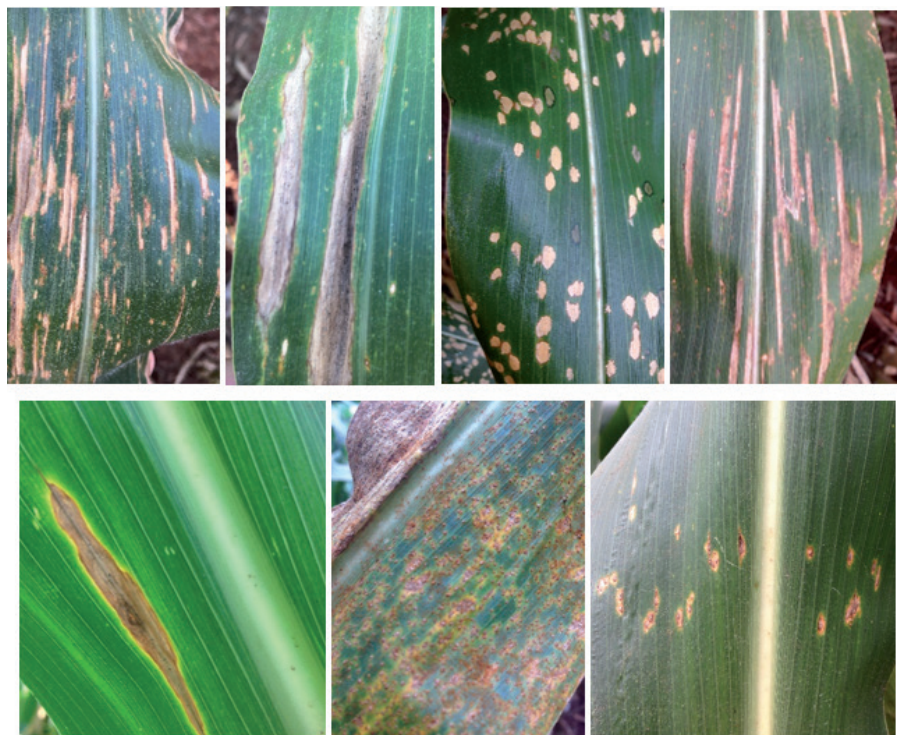


Figura 1. Principais manchas e ferrugens do milho controladas por fungicidas foliares e comumente relatadas nos ensaios da rede cooperativa. Superior da esquerda para direita: mancha de bipolaris, mancha de túrcicum, mancha branca e mancha de cercóspora. Inferior da esquerda para direita: mancha de macróspora, ferrugem políssora e ferrugem comum.

Fonte: Adriano Custódio

Devido ao aumento exponencial da área de cultivo antecipado na safrinha brasileira, a ocorrência destas doenças em parte aérea, manchas foliares em especial, tem se tornado um fator limitante para a produção sustentável de milho. Consequentemente, isto demanda que a assistência técnica e a extensão rural aperfeiçoem o posicionamento de medidas de controle, como o uso racional de fungicidas, para reduzir os danos em lavouras (Custódio et al., 2019; Custódio et al., 2019b). Portanto, algumas características destas manchas foliares e ferrugens serão relatadas a seguir.

Mancha de bipolaris

As lesões iniciam-se em folhas do terço inferior da planta, próximas ao solo. Lesões novas são pequenas e ovaladas, elípticas ou puntiformes com coloração marrom e bordas em tons avermelhados. Com o envelhecimento, as lesões se alongam no sentido das nervuras, adquirem coloração palha podendo apresentar bordas de cor parda a marrom-escura (Figura 1). *Bipolaris maydis* possui três raças, a C, a T (ambas infectam apenas plantas com citoplasma macho estéril C e T) e a O (infecta todos os tipos de citoplasma). A raça T produz lesões ovais a elípticas, e pode causar sintomas em folhas, brácteas, bainhas e espigas. A raça O tem maior distribuição no mundo e suas lesões são menores, com margens vermelho-marrons (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016).

Normalmente, a doença é mais prevalente em campos com restos culturais de milho infectados com o fungo (Carvalho

et al., 2016; Casela et al., 2006). As condições que favorecem a doença são clima úmido e temperatura do ar entre 20 °C e 32 °C (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016). Significativos danos ocasionados pela mancha de bipolaris reduzindo a produtividade podem ser de até 70% (Hussain et al., 2016). O melhor período para vistoriar os sintomas de mancha de bipolaris em campo é (Figura 2):

- início: no meio da estação de cultivo, durante o estágio vegetativo de pré-pendoamento das plantas (V5-V11);
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

ESTÁDIO FENOLÓGICO	VE	V4	V6	V8	V10	VT	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Emergência	4 folhas	6 folhas	8 folhas	10 folhas	Pendão	Boneca	Bolha d'água	Leitoso	Pastoso	Dente	Colheita
INÍCIO DO CICLO		MEIO DO CICLO						FINAL DO CICLO				
DOENÇAS FOLIARES												
Mancha de Bipolaris												
Mancha de túrcicum												
Mancha branca												
Mancha de cercóspora												
Mancha de macróspora												
Ferrugem polissora												
Ferrugem comum												

Figura 2. Estádios fenológicos durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento do milho em que as principais manchas e ferrugens controladas por fungicidas foliares são mais comumente relatadas nos ensaios de campo da rede cooperativa. As cores verde, amarela, laranja, vermelho e roxo são estimativas que representam, respectivamente, os níveis de severidade baixa, moderada, moderada-alta, alta e muito alta. Fonte: Adaptado de Wise et al. (2016)

Mancha de túrcicum

As primeiras lesões aparecem comumente entre 40 e 50 dias após a semeadura, sendo esta uma doença tipicamente de fase vegetativa. As lesões iniciam-se normalmente em folhas inferiores e progridem para as folhas superiores, mas, em epidemias severas e precipitação abundante, a infecção pode iniciar a partir do topo da planta. Os sintomas iniciais são caracterizados por pequenas lesões necróticas de formato elíptico, de coloração verde-cinza a marrom, paralelas às nervuras foliares (Figura 1). Com o avanço da doença, as lesões se expandem, aumentando de tamanho, podem atingir 2,5 cm a 15 cm de comprimento e se tornam necróticas e fusiformes (Casela et al., 2006; Carvalho et al., 2016).

Em situações de alta severidade, as lesões coalescem e as folhas secas e se tornam quebradiças (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016). O desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas do ar entre 17 °C e 27 °C, umidade relativa do ar acima de 90% e oito horas de período de molhamento foliar contínuo. Existem relatos na literatura que os danos ocasionados pela mancha de túrcicum podem atingir 50% (Munkvold e White, 2016). O melhor período para vistoriar os sintomas da mancha de túrcicum em campo é (Figura 2):

- início: durante o estágio vegetativo das plantas (V8) ou entre 40 a 50 dias após a semeadura;
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

Mancha branca

Os sintomas iniciais da doença se caracterizam por pequenas áreas de cor verde-pálido ou cloróticas, as quais tornam-se esbranquiçadas ou com aspecto seco e margens de cor marrom. Estas manchas têm forma arredondada, oblonga, alongada ou levemente irregular, medem 0,3 a 2 cm e são distribuídas sobre a superfície da folha (Rane et al., 1965) (Figura 1). No Brasil, esta doença foliar é causada por *Pantoea ananatis* (Figueiredo e Paccola-Meireles, 2012). Posteriormente, nas lesões, após a infecção pela bactéria, surgem fungos, como *Phaeosphaeria maydis* (Rane et al., 1965; Fantin e Duarte, 2009). Sob alta severidade, as lesões podem coalescer, chegando a necrosar completamente a folha e também podem afetar as brácteas da espiga (Fantin e Duarte, 2009; Custódio et al., 2019).

Normalmente, a doença tem início nas folhas do terço inferior da planta, progredindo rapidamente para as folhas do terço mediano e superior e, em ocorrências tardias, os sintomas podem surgir apenas nas folhas superiores (Casela et al., 2006). A doença é favorecida por umidade relativa do ar superior a 60%, temperatura do ar diurna alta e noturna entre 15 °C e 20 °C (Sabato et al., 2013) ou alta umidade e temperatura média de 18 °C a 21 °C durante a segunda safra (Fantin e Duarte, 2009). Danos econômicos causados pela mancha branca são dependentes da suscetibilidade e do potencial produtivo dos híbridos. Segundo Braga (2022), em híbridos suscetíveis, para cada 1% de aumento da severidade da mancha branca ocorre redução de 0,89% na produtividade, quando estimada em 7.940

kg ha⁻¹. O melhor período para vistoriar os sintomas de mancha branca em campo é (Figura 2):

- início: no meio da estação de cultivo, durante o estágio vegetativo de pré-pendoamento das plantas (V8-V11) ou antes; porém, o período para o aumento mais severo da mancha branca é após o florescimento, seguindo o estágio reprodutivo;
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

Mancha de cercóspora

Normalmente, os primeiros sintomas desta doença são observados de duas a três semanas antes do estágio fenológico de pendoamento (VT), em folhas do terço inferior das plantas (Casela et al., 2006). Três espécies do fungo *Cercospora zeaе-maydis*, *C. zeina* e *C. sorghi* var. *maydis* são comumente encontradas no Brasil (Neves et al., 2015). Após o pendoamento, a doença pode se desenvolver rapidamente e avançar para o terço mediano e superior das plantas. Os sintomas podem variar conforme o híbrido. Em alguns casos, as lesões podem apresentar bordas escuras ou halo amarelo (Ward et al., 1999; Munkvold e White, 2016).

Lesões iniciais são cloróticas, de difícil identificação, podendo ser confundidas com outras doenças, como a mancha de bipolaris. Porém, lesões maduras são características pois apresentam aspecto retangular, delimitadas pelas nervuras da folha (Figura 1). Essas lesões possuem coloração palha ou cinza clara e em híbridos altamente suscetíveis podem ser formadas extensas áreas necróticas (Carvalho et al., 2016; Casela et al.,

2016). As condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença são temperaturas do ar entre 22°C e 30°C, períodos prolongados de neblina e umidade relativa do ar maior que 95% sem a presença de água líquida, chuva, irrigação por aspersão, orvalho e em campos próximos às margens de rios (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016). Conforme Nutter e Jenco (1992), os danos ocasionados por esta doença são ao redor de 47,6 kg ha⁻¹ no decréscimo da produção para cada 1% de acréscimo na severidade da mancha de cercóspera (Nutter e Jenco, 1992). O melhor momento para vistoriar os sintomas de mancha de cercóspera em lavoura é (Figura 2):

- início: no meio da estação de cultivo, durante o estágio vegetativo de pré-pendoamento das plantas (V11) ou antes;
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

Mancha de macróspora

Os sintomas da doença podem ocorrer em todas as folhas em qualquer estágio de desenvolvimento das plantas. Lesões iniciais da mancha de macróspora podem ser pequenas estrias escuras e apresentar coloração clara seguida de necrose. As lesões foliares possuem formato irregular, de cor parda, com anéis concêntricos escuros a partir do ponto de infecção central do fungo, que possui cor clara (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016).

Lesões coalescentes são estreitas e estendem-se na direção paralela às nervuras, facilmente observadas na face superior da folha, que apresenta nítido ponto de infecção do fungo (Figura

1). Lesões velhas são elípticas a alongadas e normalmente apresentam um halo amarelado irregular ao redor da lesão (Casela et al., 2006; Munkvold e White, 2016).

O desenvolvimento da doença é favorecido por temperaturas do ar entre 26 °C e 30 °C. *Stenocarpella macrospora*, assim como a espécie *S. maydis* infectam colmos e espigas. Existem relatos na literatura que a mancha de macróspora pode ocasionar redução na produtividade de milho em torno de 31% em plantas doentes (Bampi et al., 2011). O melhor período para vistoriar os sintomas da mancha de macróspora em campo é (Figura 2):

- início: no meio da estação de cultivo, durante o estágio vegetativo e após pendoamento das plantas (VT);
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

Ferrugem políssora

A ferrugem políssora pode ser observada em qualquer fase de desenvolvimento do milho, iniciando nas folhas mais velhas. Os sintomas da doença foliar são caracterizados pela formação de numerosas, densas e pequenas pústulas circulares a ovais, de coloração variável de marrom claro, distribuídas densamente na face superior das folhas (Figura 1). As pústulas da ferrugem políssora têm coloração mais clara do que as da ferrugem comum e também apresentam característica pulverulenta. Com a aproximação da maturação fisiológica do milho, as pústulas adquirem coloração mais escura ao redor (Casela et al., 2006; Costa et al., 2010).

Híbridos altamente suscetíveis apresentam morte prematura da folha. A doença é favorecida por ambiente com temperatura entre 23 °C e 28 °C, umidade relativa do ar acima de 90%, altitudes inferiores a 700 m e seis horas de período de molhamento foliar (Munkvold e White, 2016; Wise et al., 2016). A ausência de controle em híbridos suscetíveis pode resultar em danos superiores a 50% na produção de milho (Costa et al., 2010). O melhor período para vistoriar os sintomas da ferrugem políssora em campo é (Figura 2):

- início: no meio da estação de cultivo, durante o estágio vegetativo das plantas (V8);
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão dente (R5).

Ferrugem comum

Esta doença pode ser encontrada em qualquer fase de desenvolvimento da planta, sendo comumente observada antes do florescimento das plantas. Inicialmente, a ferrugem comum ocorre nas folhas do terço inferior da planta. Infecções precoces em plantas jovens, antes do pendoamento, causam maior redução da produtividade (Casela et al., 2006).

Os sintomas iniciais da doença são lesões cloróticas na folha nas quais, em seguida, são formadas pústulas em toda a parte aérea da planta, com maior abundância nas folhas do cartucho. Uma característica marcante desta doença é que as pústulas são mais alongadas que as demais ferrugens, ocorrem na superfície superior e inferior da folha. As pústulas apresentam coloração variando do marrom claro na fase inicial

dos sintomas ao marrom escuro em fases avançadas (Figura 1). As pústulas alteram sua coloração para marrom escuro quando os urediniósporos são substituídos pelos teliósporos, próximo do estágio fenológico de maturidade fisiológica da planta. Ao redor das pústulas pode ocorrer um halo de coloração variando de amarelo a verde-claro (Casela et al. 2006; Munkvold e White, 2016).

A doença é favorecida por ambiente com temperatura na faixa de 16 °C a 23 °C, alta umidade relativa do ar, acima de 95%, e seis horas de período de molhamento foliar. Regiões com altitudes maiores a 700 m favorecem a ocorrência da doença. Uma simples pústula da folha infectada pode conter mais de 5.000 urediniósporos. Dias quentes e secos limitam o desenvolvimento da doença. Existem relatos na literatura que para cada 10% da área total infectada ocorre uma redução do peso dos grãos entre 3% e 8% (Munkvold e White, 2016). O melhor período para vistoriar os sintomas da ferrugem comum em campo é (Figura 2):

- início: durante o estágio vegetativo, de pré-pendoamento das plantas (V6-V11) ou antes;
- término: no final da estação de cultivo, no estágio reprodutivo de grão pastoso (R4).

Fungicidas em milho

Mundialmente, até 1970, pouca importância era dada às doenças do milho. Somente após a severa epidemia da mancha foliar de *bipolaris* (helminthosporiose maidis) nos Estados Unidos, as doenças da cultura passaram a ser consideradas como

limitantes de produtividade. Os danos à produção de milho grão causados por *Bipolaris maydis* (raça T) naquele ano foram superiores a 20 milhões de toneladas e as perdas monetárias superiores a 1 bilhão de dólares (Munkvold e White, 2016). Estudos mencionam que fungicidas protetores foram utilizados em 1980 para controle da cercosporiose (Ward e Nowell, 1998). Contudo, somente na década de 1990 os fungicidas passaram a ser efetivamente utilizados no controle de doenças foliares em diversos países, como Estados Unidos e África do Sul (Ward et al., 1997; Wegulo et al., 1997).

No Brasil, o uso em larga escala de fungicidas em lavouras comerciais ocorreu no início dos anos 2000, devido a surtos epidêmicos da mancha de cercóspera no sudoeste goiano na primeira safra de 1999/2000 e na safrinha de 2000 (Fantin e Duarte, 2009). Naquela época, o governo brasileiro precisou tomar medidas rápidas para registrar os primeiros fungicidas foliares para controlar doenças em lavouras de milho (Pinto, 2004). Desde então, houve a intensificação gradativa do uso de fungicidas em áreas comerciais de milho e, conseqüentemente, um aumento do portfólio de produtos comercializados. Atualmente, existem aproximadamente 191 fungicidas registrados no Ministério da Agricultura para o controle de doenças foliares do milho (Agrofit, 2022).

Em 2013, 30 fungicidas estavam registrados no Brasil, representando um incremento de 161 novos produtos em apenas nove anos (Agrofit, 2022). Os princípios ativos destes fungicidas, em sua maioria, pertencem ao grupo químico

dos triazóis (75%) e das estrobilurinas (41%), constituídos principalmente pelos ingredientes ativos tebuconazol (45%), azoxistrobina (17%), piraclostrobina (15%), tiofanato metílico (13%) e mancozeb (10%).

Cota et al. (2018) realizaram um levantamento do uso de fungicidas na cultura do milho no Brasil. O estudo obteve dados em duas primeiras safras, em 2015/2016 e 2016/2017, e duas safrinhas, nos anos de 2015 e 2016. Nas regiões produtoras de milho amostradas (956), o número de aplicações de fungicidas foliares variou de zero (sem aplicação) até seis aplicações. Aproximadamente 73,6% dos produtores fizeram uma ou duas aplicações de fungicidas para o controle de doenças foliares. Por outro lado, apenas 19,5% das lavouras amostradas não foram pulverizadas com fungicidas.

Um estudo metanalítico utilizando banco de dados entre 2007 e 2013 observou maior probabilidade (95%) para garantir a produtividade com o uso de fungicidas foliares comparado à testemunha sem aplicação (Fantin et al., 2017). Ainda, houve probabilidade de 82% para manter 300 kg ha⁻¹ (ou 5 sacas de 60 kg) e 57% de probabilidade para manter 600 kg ha⁻¹ (ou 10 sacas de 60 kg). Também, os resultados mostraram que, comparada a apenas uma aplicação, houve maior probabilidade para manter a produtividade em duas aplicações de fungicidas.

Prejuízos quantitativos devidos ao ataque de fitopatógenos têm sido frequentes nas principais regiões produtoras do país, e dúvidas sobre a eficiência dos produtos no controle das principais doenças foliares surgem a cada safra.

No Brasil, alguns estudos já foram realizados para conhecer o efeito e a eficiência de fungicidas em milho (Pinto, 2004; Costa et al., 2012; Cota et al., 2018). A maioria destes ensaios foram realizados em poucas localidades ou conduzidos majoritariamente com ingredientes ativos formados por moléculas simples ou misturas duplas de triazol e estrobilurina, disponíveis à época das avaliações, podendo ser associados ao mancozeb. Os principais alvos-biológicos eram mancha branca, mancha de cercóspera e ferrugens.

A partir da segunda safra de milho, em 2017, foi estabelecida no Paraná, Brasil, uma iniciativa de trabalho em rede nacional de pesquisa cooperativa por meio de uma ampla parceria público-privada envolvendo companhias químicas e instituições de pesquisas (Custódio et al., 2019; Custódio et al., 2019ab). O objetivo foi conhecer em multi-localidades a eficiência de fungicidas (registrados e em fase de registro) em três aplicações sequenciais para controlar doenças foliares do milho reduzindo os danos em campo. Esta pesquisa cooperativa tem possibilitado acelerar a modernização do portfólio de novos fungicidas foliares registrados para a cultura do milho brasileiro (Custódio et al., 2020; Custódio et al., 2020a).

Estes fungicidas são compostos por novas opções de moléculas com diferentes modos de ação ou novas combinações de fungicidas sítio-específicos e multissítios formados por triazol, triazolintiona, estrobilurina, carboxamida, ditiocarbamato e cloronitrila (Custódio et al., 2020; Custódio et al., 2020a). Este trabalho também pode impulsionar o registro de fungicidas

foliares no Ministério da Agricultura para mancha de *bipolaris* e mancha de macróspora.

Os ensaios realizados por esta rede cooperativa demonstraram variação entre os fungicidas foliares, do ponto de vista de eficiência de controle (%C) e manutenção de produtividade (kg ha⁻¹). Nesse caso, o posicionamento dos produtos de acordo com cada cenário e estágio fenológico da cultura é fundamental para garantir o controle adequado da doença e obter resposta produtiva do híbrido escolhido (Custódio et al., 2019; Custódio et al., 2020).

Usualmente, apenas uma aplicação de fungicida foliar é economicamente viável para produção de milho grão. No entanto, produtores realizam duas e até três aplicações de fungicidas para manejar doenças foliares (Cota et al., 2018). Normalmente, a primeira aplicação ocorre no estágio vegetativo de seis a oito folhas (V6-V8), seguida por uma aplicação antes do pendoamento das plantas em 11 folhas (V11). Porém, em alguns casos, pode ser necessária uma terceira aplicação após o pendoamento das plantas, no estágio reprodutivo de grão bolha (R2) da cultura. Também, variações das aplicações de fungicidas nos três estágios fenológicos acima descritos podem ocorrer, com a primeira aplicação antes do pendoamento e a segunda aplicação após o pendoamento (Custódio et al., 2019, Custódio et al., 2020).

É importante mencionar que no estágio fenológico reprodutivo após o pendoamento, considerado um período crítico da cultura, qualquer fator que interfira negativamente

reduzindo a área foliar sadia e, conseqüentemente, a sua capacidade fotossintética, resulta em reduções significativas na produtividade (Costa et al., 2009). Normalmente, esta aplicação tem sido negligenciada por muitos produtores das principais microrregiões milhícolas do país devido à necessidade de um planejamento organizado e uso de aeronaves.

Devido ao alto investimento da cultura, principalmente na segunda safra e em áreas com histórico de doenças foliares controladas por fungicidas, alguns produtores brasileiros realizam aplicações preventivas com o objetivo de proteger o potencial produtivo dos híbridos comercializados. Para mancha de cercóspora do milho, Rocha (2023), utilizando uma análise conjunta de ensaios em duas localidades, observou que, dentre 10 tratamentos experimentais, o fungicida com mistura tripla de fluxapiraxade + piraclostrobina + mefentrifluconazole apresentou a maior média de controle (72,8%) e também o maior valor de manutenção de produtividade (43,5%) comparado ao tratamento testemunha. Ao comparar este fungicida citado com outro tratamento de mistura dupla amplamente utilizado por produtores (epoxiconazole + piraclostrobina), houve incremento na eficiência de controle em 17,4% e na manutenção de produtividade em 13%.

Para a mancha branca do milho, em parcelas sem tratamento com fungicidas, a severidade média foi cerca de 15% maior do que em parcelas tratadas com fungicidas. Além disso, a manutenção de produtividade em parcelas aplicadas com fungicidas foram até 30% maior comparado àquelas

não pulverizadas, devido à proteção da área foliar sadia proporcionada pelas aplicações de fungicidas (Custódio et al., 2020b). Braga (2022) utilizando uma abordagem metanalítica sumarizou quantitativamente a eficiência de azoxistrobina + difenoconazole + clorotalonil, azoxistrobina + tebuconazole + mancozeb, piraclostrobina + epoxiconazole, piraclostrobina + fluxapirroxade, piraclostrobina + fluxapirroxade + mefentrifluconazole e trifloxistrobina + protioconazol + bixafen para estimar a resposta dos tratamentos avaliados em ensaios de campo conduzidos entre 2016 a 2020 no controle da doença e produtividade. Todos os seis fungicidas proporcionaram resposta de produtividade ($>1.000 \text{ kg ha}^{-1}$) superior à testemunha sem aplicação. A média de eficiência de controle da mancha branca e a manutenção de produtividade entre os tratamentos com aplicações de fungicidas variaram de 61,3 a 74,2% e 1.019,4 a 1.337 kg ha^{-1} , respectivamente (Braga, 2022).

Recentemente, um estudo no Brasil, divulgado pelo grupo Kynetec Brasil, demonstrou que o mercado anual de fungicidas para milho verão e safrinha no país cresceu de R\$ 561 milhões na safra 2014-15 para R\$ 2,83 bilhões na safra 2022-23. Neste estudo, foi mencionado que na safra 2022-23 as misturas compostas por triazois e estrobilurinas (Stroby Mix) representaram 55% do mercado, enquanto produtos à base de carboxamidas (Premium) foi 25%. Por outro lado, fungicidas protetores tiveram 7% de participação no mercado, enquanto produtos benzimidazois e triazois tiveram 4% cada. Também, em lavouras de milho safrinha, houve pelo menos uma

aplicação de fungicida em 97% da área cultivada e intensidade média de duas aplicações dos tratamentos. Aparentemente, a maior adoção destas tecnologias ocorreu devido ao maior engajamento dos produtores para evitar potenciais danos à produtividade ocasionados por manchas foliares e ferrugens na colheita do milho grão (Revista Cultivar, 2024).

Resultados sumarizados

Na segunda safra de 2023, 30 ensaios de campo foram conduzidos em 25 localidades nos biomas Mata Atlântica e Cerrado brasileiro (Figura 3).

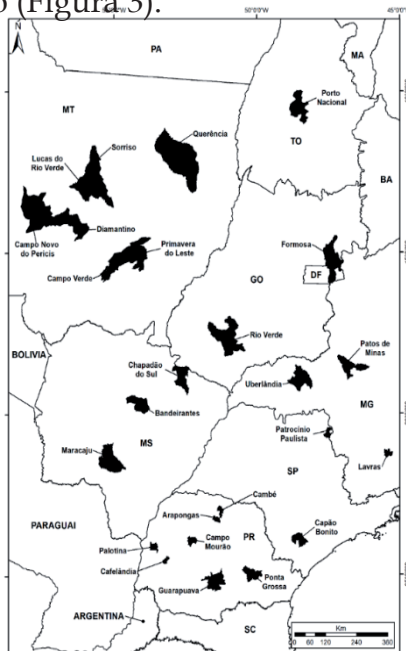


Figura 3. Localização dos municípios com ensaios de campo implantados na rede cooperativa. Milho safrinha de 2023. Fonte: Leonardo Ferriani

Neste trabalho, a metodologia utilizada foi publicada por Custódio et al. (2020) disponível em uma website (<https://www.fitossanidadetropical.org.br/informacoes-tecnicas/publicacoes>). A dose e o uso de adjuvantes dos tratamentos foram, no entanto, indicados pelas empresas fabricantes. Três aplicações sequenciais dos tratamentos com pulverizador pressurizado foram realizadas (V6/V8, V11 e R2). Em cada localidade, cinco avaliações da severidade foram realizadas, de V8 a R2, em intervalos de 14 a 21 dias. A severidade total (AACPD) das doenças foliares e a produtividade (kg ha^{-1}) foram estatística e conjuntamente analisadas. A eficiência de controle e a manutenção de produtividade porcentual foram calculadas.

Os tratamentos experimentais foram constituídos por onze (11) fungicidas formados por misturas prontas de moléculas simples, misturas duplas e misturas triplas, sem ou com associação de fungicidas multissítios. Além disso, três tratamentos padrões foram considerados, sendo controle positivo com fungicida sítio específico e multissítio registrados para a cultura, e um controle negativo sem aplicação de fungicida (testemunha). Ao todo, o ensaio teve quinze (15) tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1. Produto comercial, dose por hectare, registro, concentração do ingrediente ativo e empresa detentora do fungicida foliar para cada tratamento. Milho safrinha de 2023¹.

N ^o	Tratamento (produto comercial)	Dose ha ⁻¹	REGISTRO	Concentração do ingrediente ativo	Empresa
1	TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	-	-	-	-
2	ABACUS HC + Mees (0,5 l/ha) (Controle Positivo, sitio específico)	0,38	REGISTRADO	piraclostrobina (26%) + epoxiconazole (16%)	BASF
3	UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	2,0	REGISTRADO	mancozebe (75%)	UPL
4	PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	2,0	REGISTRADO	clorotalonil (72%)	HELM
5	FOX XPRO + Aureo (0,25l/ha)	0,5	REGISTRADO	trifloxistrobina (15%) + protoconazole (17,5%) + bixafen (12,5%)	BAYER
6	ORKESTRA SC + Mees (0,5 l/ha)	0,35	REGISTRADO	piraclostrobina (33,33%) + fluxapiroxade (16,7%)	BASF
7	MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees (0,5 l/ha)	0,5	REGISTRADO	piraclostrobina (20%) + mefentrifluconazole (20%)	BASF
8	TRIDIUM + Strides (0,25% v/v)	2,0	REGISTRADO	azoxistrobina (4,7%) + tebuconazole (5,6%) + mancozebe (59,7%)	UPL
9	APPROACH POWER + CONTROLLER NT	0,8 + 1,5	REGISTRADO	picoxistrobina (9%) + ciproconazole (4%) + mancozebe (80%)	CORTEVA
10	VIOVAN + CONTROLLER NT	0,75 + 1,5	RET III	picoxistrobina (10%) + protoconazole (11,67%) + mancozebe (80%)	CORTEVA
11	TAMIZ + TROIA + Agris (0,5 l/ha)	0,6 + 1,5	REGISTRADO	azoxistrobina (12%) + tebuconazole (16%) + mancozebe (80%)	SUMITOMO
12	VITEAN + ECHO + Assist (0,5 l/ha)	0,2 + 1,5	REGISTRADO	azoxistrobina (30%) + difenoconazole (20%) + clorotalonil (72%)	SIPCAM NICHINO
13	HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima (0,25 L/ha)	0,5 + 1,5	REGISTRADO	azoxistrobina (12%) + tebuconazole (24%) + clorotalonil (72%)	HELM
14	OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima (0,25 L/ha)	0,4 + 1,5	RET III	azoxistrobina (20%) + difenoconazole (12,5%) + clorotalonil (72%)	HELM
15	FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold (0,25%)	0,725 + 1,5	REGISTRADO	metominostrobrina (11%) + tebuconazole (16,5%) + clorotalonil (72%)	IHARA

¹Tratamentos experimentais. Fungicida registrado ou com registro especial temporário III (RET III).

Múltiplas doenças foliares

Em todos os ensaios da rede de pesquisa cooperativa na safrinha de 2023 localizados em sete Estados da federação (Figura 3), 50% das ocorrências de múltiplas doenças foliares foram ocasionadas por mancha de bipolaris e/ou mancha de túrcicum. Por outro lado, 28% das ocorrências foram ocasionadas por mancha branca. No Estado do Mato Grosso, maior produtor de milho, 41% das ocorrências foram ocasionadas por mancha de bipolaris e/ou mancha de túrcicum, enquanto no Estado do Paraná, segundo maior produtor de milho, 40% das ocorrências foram ocasionadas por mancha branca (dados não apresentados).

Os resultados médios de severidade total representados pela AACPD tiveram menor valor ao abranger todos os tratamentos com fungicidas (638) em relação à AACPD (1.576) do tratamento testemunha sem fungicida. Houve efeito significativo dos tratamentos com fungicidas (de 532 a 807) em relação à testemunha (1.576), indicando o efeito destes sobre as doenças (Tabela 2).

Nas análises conjuntas sumarizadas das oito localidades, a severidade final média dos tratamentos com fungicidas foi de 28,5%, o que representou uma diferença absoluta de 34,9% na severidade de doenças entre a testemunha sem fungicida e a média dos tratamentos com fungicidas (Tabela 2). Houve severidade de 63,4% na testemunha que diferiu estatisticamente de todos os tratamentos com fungicida de menor severidade (22% a 35,6%). Também, do ponto de vista estatístico, para a AACPD, os tratamentos foram separados em dois grupos de médias pelo teste de Tukey, tratamento testemunha sem fungicida e os demais tratamentos com fungicida. Numericamente, houve maior AACPD no tratamento sem fungicida (1.576) e menor AACPD, de 532, no tratamento 7 (Melyra), apesar de não haver ocorrido diferença significativa entre os tratamentos com fungicidas (Tabela 2). Os tratamentos testados com aplicações de misturas duplas, misturas triplas, associadas ou não a fungicidas multissítios apresentaram eficiência de controle variando de 49% no tratamento 3, controle positivo Unizeb Gold, a 66% no tratamento 7, Melyra (Tabela 2).

Tabela 2. Severidade final (Sev final), severidade total (AACPD) de múltiplas doenças foliares e eficiência de controle (C) para os tratamentos. Milho safrinha de 2023¹.

Tratamento	Sev final (%)		AACPD		C ² (%)
	N = 8		N = 8		
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	63,4	A	1.576	A	0
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sítio específico)	26,7	BC	572	B	64
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	35,6	B	807	B	49
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	34,4	B	765	B	51
5 FOX XPRO + Aureo	25,6	BC	561	B	64
6 ORKESTRA SC + Mees	25,4	BC	564	B	64
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	22,0	C	532	B	66
8 TRIDIUM + Strides	26,8	BC	642	B	59
9 APPROACH POWER + CONTROLLER NT	28,7	BC	654	B	59
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	28,9	BC	630	B	60
11 TAMIZ + TROIA + Agris	29,1	BC	631	B	60
12 VITENE + ECHO + Assist	29,0	BC	644	B	59
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	30,4	BC	656	B	58
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	28,9	BC	644	B	59
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	27,4	BC	626	B	60
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	28,5		638		
C.V. (%) ³	11,3		7,8		
R ² (%) ⁴	97		99		
Pr > F ⁵	<.0001		<.0001		
DMS ⁶	11,4				

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. Múltiplas doenças foliares: mancha branca, mancha de cercóspora, mancha de macróspora, mancha de túrcicum, mancha de bipolaris e ferrugem políssora. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = número de ensaios; ²Eficiência de controle porcentual comparado ao tratamento testemunha por meio da AACPD; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R²); ⁵Probabilidade de significância do teste F (Pr > F); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Exceto os dois tratamentos controle positivo com fungicida multissítio (tratamento 3, Unizeb Gold e tratamento 5, Previnil), os demais tratamentos com aplicação de fungicida destacaram-se por apresentar produtividade superior à do tratamento testemunha, sem fungicida. A produtividade média dos tratamentos com fungicida foi 7.257 kg ha⁻¹ comparada a 6.250

kg ha⁻¹ do tratamento sem fungicida (Tabela 3). A manutenção de produtividade nos tratamentos com aplicação de fungicida variou de 10% no tratamento 4, controle positivo Previnil, a 22% no tratamento 5, Fox Xpro (Tabela 3).

Tabela 3. Produtividade e manutenção de produtividade (MP) em cada tratamento em função de múltiplas doenças foliares. Milho safrinha de 2023¹.

Treatamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)	MP ² (%)
N = 8		
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	6.250	D
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sítio específico)	7.436	ABC
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	6.990	BC
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	6.900	C
5 FOX XPRO + Aureo	7.624	A
6 ORKESTRA SC + Mees	7.365	ABC
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	7.589	AB
8 TRIDIUM + Strides	7.056	ABC
9 APROACH POWER + CONTROLLER NT	7.147	ABC
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	7.298	ABC
11 TAMIZ + TROIA + Agris	7.212	ABC
12 VITENE + ECHO + Assist	7.136	ABC
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	7.139	ABC
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	7.434	ABC
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	7.278	ABC
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	7.257	
C.V. (%) ³	8,7	
R ² (%) ⁴	90	
Pr > F ⁵	<0,0001	
DMS ⁶	616,0	

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. Múltiplas doenças foliares: mancha branca, mancha de cercóspora, mancha de macróspora, mancha de túrcicum, mancha de bipolaris e ferrugem políssora. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). N = número de ensaios; ²Manutenção de produtividade comparado ao tratamento testemunha sem fungicida devido à proteção da área foliar sadia; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R²); ⁵Probabilidade de significância do teste F (Pr >F); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Helmintosporioses

Para as helmintosporioses, englobando a mancha de *bipolaris* e/ou mancha de *túrcicum*, os resultados médios de severidade total representados pela AACPD tiveram menor valor ao abranger todos os tratamentos com fungicidas (444) em relação à AACPD (1.032) do tratamento testemunha sem fungicida. Houve efeito significativo dos tratamentos com fungicidas (de 309 a 634) em relação à testemunha (1.032), indicando o efeito destes sobre as doenças (Tabela 4).

Nas análises conjuntas sumarizadas das oito localidades, a severidade final média dos tratamentos com fungicidas foi de 20,5%, o que representou uma diferença absoluta de 20,3% na severidade de doenças entre a testemunha sem fungicida e a média dos tratamentos com fungicidas (Tabela 4). Houve severidade de 40,8% na testemunha que diferiu estatisticamente de todos os tratamentos com fungicida de menor severidade (12,8% a 29,7%). Também, do ponto de vista estatístico, para a AACPD os tratamentos foram separados em vários grupos de médias comparadas duas a duas pelo teste de Tukey. Numericamente, houve maior AACPD no tratamento sem fungicida (1.032) e menor AACPD de 309, no tratamento 7 (Melyra) (Tabela 4). Os tratamentos testados com aplicações de misturas duplas, misturas triplas, associadas ou não a fungicidas multissítios apresentaram eficiência de controle variando de 39% no tratamento 3, controle positivo Unizeb Gold, a 70% no tratamento 7, Melyra (Tabela 4).

Tabela 4. Severidade final (Sev final), severidade total (AACPD) de helmintosporioses e eficiência de controle (C) para os tratamentos. Milho safrinha de 2023¹.

Tratamento	Sev final		AACPD		C ²
	(%)				(%)
	N = 8		N = 8		
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	40,8	A	1.032	A	0
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sitio específico)	16,5	DE	400	CD	61
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	29,7	B	634	B	39
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	24,8	BC	555	BC	46
5 FOX XPRO + Aureo	17,7	DE	344	CD	67
6 ORKESTRA SC + Mees	16,5	DE	348	CD	66
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	12,8	E	309	D	70
8 TRIDIUM + Strides	21,2	CD	446	BCD	57
9 APROACH POWER + CONTROLLER NT	22,2	CD	499	BCD	52
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	21,0	CD	456	BCD	56
11 TAMIZ + TROIA + Agris	21,8	CD	451	BCD	56
12 VITENE + ECHO + Assist	21,1	CD	455	BCD	56
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	20,5	CD	474	BCD	54
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	22,1	CD	464	BCD	55
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	18,7	CDE	384	CD	63
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	20,5		444		
C.V. (%) ³	10,2		8,2		
R ² (%) ⁴	97		99		
Pr > F ⁵	<.0001		<.0001		
DMS ⁶	7,0		214		

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. N = número de ensaios. Helmintosporioses: mancha de túrcicum e/ou mancha de bipolaris. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = número de ensaios; ²Eficiência de controle porcentual comparado ao tratamento testemunha por meio da AACPD; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R²); ⁵Probabilidade de significância do teste F (Pr > F); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Exceto os dois tratamentos controle positivo com fungicida multissítio (tratamento 3, Unizeb Gold e tratamento 5, Previnil), todos os demais tratamentos com aplicação de fungicida destacaram-se por apresentar produtividade superior à do tratamento testemunha, sem fungicida. A produtividade média dos tratamentos com fungicida foi 7.862 kg ha⁻¹ comparada a

6.858 kg ha⁻¹ do tratamento sem fungicida. A manutenção de produtividade nos tratamentos com aplicação de fungicida variou de 9% nos dois tratamentos controle positivo, a 20% no tratamento 4, Melyra comparados ao tratamento testemunha (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade e manutenção de produtividade (MP) em cada tratamento em função de helmintosporioses. Milho safrinha de 2023¹.

Tratamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)	MP ² (%)
	N = 5	
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	6.858	C
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sítio específico)	7.978	AB
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	7.505	BC
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	7.462	BC
5 FOX XPRO + Aureo	7.888	AB
6 ORKESTRA SC + Mees	8.053	AB
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	8.253	A
8 TRIDIUM + Strides	7.841	AB
9 APROACH POWER + CONTROLLER NT	7.619	AB
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	7.857	AB
11 TAMIZ + TROIA + Agris	8.102	AB
12 VITENE + ECHO + Assist	7.710	AB
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	7.906	AB
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	8.034	AB
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	7.855	AB
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	7.862	
C.V. (%) ³	7,5	
R ² (%) ⁴	60	
Pr > F ⁵	<0,0001	
DMS ⁶	732,0	

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. Helmintosporioses: mancha de túrcicum e/ou mancha de bipolaris. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05). N = número de ensaios; ²Manutenção de produtividade comparado ao tratamento testemunha sem fungicida devido à proteção da área foliar sadia; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R²); ⁵Probabilidade de significância do teste F (Pr > F); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Mancha branca

Os resultados médios de severidade total representados pela AACPD tiveram menor valor ao abranger todos os tratamentos com fungicidas (252) em relação à AACPD (761) do tratamento testemunha sem fungicida. Houve efeito significativo dos tratamentos com fungicidas (de 222 a 294) em relação à testemunha (761), indicando a diferença no efeito destes dois grupos estatísticos sobre a mancha branca, apesar de não ter ocorrido significância entre os tratamentos com fungicidas para discriminar os melhores produtos (Tabela 6).

Nas análises conjuntas sumarizadas das seis localidades, a severidade final do tratamento sem fungicida foi de 38%, o que representou uma diferença absoluta de 26,2% na severidade de doenças entre a testemunha sem fungicida e a média dos tratamentos com fungicidas (Tabela 6). A severidade de 38% na testemunha diferiu estatisticamente de todos os tratamentos com fungicida, de menor severidade (9,4% a 14,9%). Também, do ponto de vista estatístico, para a AACPD os tratamentos foram separados em dois grupos de médias pelo teste de Tukey, tratamento testemunha sem fungicida e os demais tratamentos com fungicida.

Numericamente, houve maior AACPD no tratamento sem fungicida (761) e menor AACPD de 222, no tratamento 14 (Ozean + Previnil), apesar de não ter ocorrido significância entre os tratamentos com fungicidas (Tabela 6).

Tabela 6. Severidade final (Sev final), severidade total (AACPD) de mancha branca e eficiência de controle (C) para os tratamentos. Milho safrinha de 2023¹.

Tratamento	Sev final		AACPD		C ² (%)
	(%)				
	N = 6		N = 6		
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	38,0	A	761	A	0
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sitio específico)	12,1	B	275	B	64
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	14,9	B	294	B	61
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	14,9	B	287	B	62
5 FOX XPRO + Aureo	12,4	B	224	B	71
6 ORKESTRA SC + Mees	12,8	B	264	B	65
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	12,3	B	281	B	63
8 TRIDIUM + Strides	10,8	B	249	B	67
9 APROACH POWER + CONTROLLER NT	10,2	B	231	B	70
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	9,4	B	223	B	71
11 TAMIZ + TROIA + Agris	11,7	B	244	B	68
12 VITENE + ECHO + Assist	10,8	B	238	B	69
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	10,6	B	238	B	69
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	10,6	B	222	B	71
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	11,5	B	253	B	67
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	11,8		252		
C.V. (%) ³	15,8		11,3		
R ² (%) ⁴	96		98		
Pr > F ⁵	<.0001		<.0001		
DMS ⁶	9,3		187		

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. Mancha branca. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = número de ensaios; ²Eficiência de controle porcentual comparado ao tratamento testemunha por meio da AACPD; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R^2); ⁵Probabilidade de significância do teste F ($Pr > F$); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Os tratamentos testados com aplicações de misturas duplas, misturas triplas, associadas ou não a fungicidas multissítios apresentaram eficiência de controle variando de 61% no tratamento 3, controle positivo Unizeb Gold, a 71% nos tratamentos 5 (Fox Xpro), 10 (Viovan + Controller) e 14 (Ozean + Previnil) (Tabela 6).

Todos os tratamentos com aplicação de fungicida

destacaram-se por apresentar produtividade superior à do tratamento testemunha, sem fungicida. A produtividade média dos tratamentos com fungicida foi 6.276 kg ha⁻¹ comparada a 5.111 kg ha⁻¹ do tratamento sem fungicida. A manutenção de produtividade nos tratamentos com aplicação de fungicida variou de 16% no tratamento 2, controle positivo Abacus, a 28% no tratamento 13, Helmstar Plus + Previnil comparado ao tratamento testemunha (Tabela 7).

Tabela 7. Produtividade e manutenção de produtividade (MP) em cada tratamento em função de mancha branca. Milho safrinha de 2023¹.

Tratamento	Produtividade (kg ha ⁻¹)	MP ² (%)
N = 3		
1 TESTEMUNHA (Controle Negativo, sem fungicida)	5.111	B 0
2 ABACUS HC + Mees (Controle Positivo, sítio específico)	5.925	A 16
3 UNIZEB GOLD (Controle Positivo, multissítio)	6.106	A 19
4 PREVINIL (Controle Positivo, multissítio)	6.008	A 18
5 FOX XPRO + Aureo	6.397	A 25
6 ORKESTRA SC + Mees	6.005	A 17
7 MELYRA (BAS 751 01 F) + Mees	6.139	A 20
8 TRIDIUM + Strides	6.399	A 25
9 APROACH POWER + CONTROLLER NT	6.342	A 24
10 VIOVAN + CONTROLLER NT	6.510	A 27
11 TAMIZ + TROIA + Agris	6.396	A 25
12 VITENE + ECHO + Assist	6.479	A 27
13 HELMSTAR PLUS + PREVINIL + Ochima	6.550	A 28
14 OZEAN (HDB 182) + PREVINIL + Ochima	6.360	A 24
15 FUSÃO + ABSOLUTO FIX + Iharol Gold	6.242	A 22
Média dos tratamentos (2-15) com fungicida	6.276	
C.V. (%) ³	8,7	
R ² (%) ⁴	90	
Pr > F ⁵	<0,0001	
DMS ⁶	616,0	

¹Resultados sumarizados na safrinha de 2023. Mancha branca. Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = número de ensaios; ²Manutenção de produtividade comparado ao tratamento testemunha sem fungicida devido à proteção da área foliar sadia; ³Coefficiente de variação (CV); ⁴Coefficiente de determinação (R²); ⁵Probabilidade de significância do teste F (Pr > F); ⁶Diferença mínima significativa (DMS).

Considerações finais

Os resultados sumarizados dos ensaios cooperativos da eficiência de controle e manutenção de produtividade para doenças foliares do milho safrinha de 2023 permitiram observar que:

- Maior severidade de doenças foliares reduziu a produtividade do milho. O uso dos fungicidas foliares promoveu a manutenção do potencial produtivo nos híbridos suscetíveis.

- Para múltiplas doenças foliares, houve maior eficiência de controle de 66% e manutenção de produtividade de 22% comparado ao tratamento testemunha sem fungicida, e menor eficiência de controle e manutenção de produtividade de 49% e 10%, respectivamente.

- Para helmintosporioses (mancha de bipolaris e/ou mancha de túrcicum), houve maior eficiência de controle de 70% e manutenção de produtividade de 20% comparado ao tratamento testemunha sem fungicida, e menor eficiência de controle e manutenção de produtividade de 39% e 9%, respectivamente.

- Para mancha branca, houve maior eficiência de controle de 71% e manutenção de produtividade de 28% comparado ao tratamento testemunha sem fungicida, e menor eficiência de controle e manutenção de produtividade de 61% e 16%, respectivamente.

- Integração é a premissa básica do manejo de manchas e ferrugens do milho. Estudos elucidando a interação entre a resistência genética de híbridos, épocas de semeadura e

programas de aplicações de fungicidas foliares devem ser melhor explorados para fornecer informações que ajudem no planejamento e uso de medidas integradas de controle.

Agradecimentos

Os autores são agradecidos a todos os membros das Instituições parceiras por suportarem esta rede nacional de pesquisa cooperativa na safrinha de 2023, em especial Abramilho, FAPEAGRO, RFT Rede Fitossanidade Tropical, BASF, BAYER, CORTEVA, HELM, IHARA, SipcamNichino, Sumitomo Chemical, UPL, 3M, Agrodinâmica, AgroEnsaio, Agronunes, ALX Farias, APTA/IAC-IB, Assist, CPA/Copacol, Ceres, Desafios Agro, EPAMIG, Embrapa Milho e Sorgo, Famiva, Fundação Rio Verde, Fundação MS, Fundação Chapadão, Fundação MT, G12 Agro, IDR-Paraná, JuliAgro/UFU, Proteplan, Rural Técnica, Staphyt, TAGRO, UEL/ALS Pesquisa, UFLA e UniRV/CPA.

Referências bibliográficas

AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 5 dezembro 2021.

BAMPI, D.; CASA, R. T.; WORDELL FILHO, J. A.; KUHNEM JUNIOR, P. R.; PILETTI, G. Relação entre a mancha-demacróspora na folha da espiga e o rendimento e a sanidade de grãos de milho. In:

REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 8., 2011, Chapecó. Anais [...]. Chapecó: Epagri, 2011.

BRAGA, K. Quantificação de danos e desempenho de fungicidas no controle da mancha branca do milho: uma metanálise. Tese Universidade Estadual de Londrina, 2022.

CARVALHO, R.V.; PEREIRA, O.A.P.; CAMARGO, L.E.A. Doenças do milho (*Zea mays* L.). In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E. A. Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas. 5ed. São Paulo: Ceres, 2016. v.2, p.549-560.

CASELA, C.R.; FERREIRA, A.S.; PINTO, N.F.J.A. Doenças na cultura do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, Circular Técnica, 83, 2006. 14p.

COSTA, R.V.; COTA, L.V. Controle químico de doenças na cultura do milho: aspectos a serem considerados na tomada de decisão sobre aplicação. Sete Lagoas: Embrapa-CNMS, Circular Técnica, 125, 2009, 11p.

COSTA, R. V. da.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da.; LANZA, F. E.; FIGUEIREDO, J. E. F. Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v.11, n.3, p.291-301, 2012.

COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; PARREIRA, D. F.; ROCHA, L. M. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E.; PARENTONI, S. N.; MACHADO, J. R. A. Epidemias severas da ferrugem políssora do milho na Região Sul do Brasil na safra 2009/2010. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 6 p. (Circular Técnica, 138).

COTA, L. V.; COSTA, R. V.; SILVA, D. D.; LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; MACHADO, J. R.; MENDONÇA, L. B. P.; SILVA, A. F.; TARDIN, F. D.; MEIRELLES, W. F. Monitoramento do Uso de Fungicidas na Cultura do Milho no Brasil, Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2018. 13p. (Circular Técnica, n. 249).

CUSTÓDIO, A. A. P.; MOREIRA, L. S. O.; FANTIN, L. H.; BRAGA, K.; CANTERI, M. G.; YADA, I. F. U. Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho segunda safra 2016 e 2017. Londrina, PR: IAPAR, 2019. 38 p. (Boletim Técnico, n. 93).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; NAKASHIMA, C.; SONEGO, D. A.; BLAINSKI, A.; BETIOLI JUNIOR, A.; GARCIA, F. C.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; CARRÉ-MISSIO, V. Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho segunda safra 2018 e 2019. Londrina, PR: IAPAR, 2019a. 34 p. (Boletim Técnico, n. 94).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; NAKASHIMA, C.; SONEGO, D. A.; BLAINSKI, A.; BETIOLI JUNIOR, A.; GARCIA, F. C.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; CARRÉ-MISSIO, V. Eficiência de fungicidas para o controle múltiplo de doenças foliares do milho segunda safra 2019. Londrina, PR: IAPAR, 2019b. 34 p. (Boletim Técnico, n. 95).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; CAMPOS, H.D.; SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; DUARTE, A.P.; DIAS, A.R.; MUHL, A.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; CHAGAS, D.F.; BARROS, E.; BLAINSKI, E.; MOREIRA, E.N.; MEDEIROS, F.L.C.; FANTIN, G.M.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L.M.; SATO, L.N.; MULLER, M.A.; TORMEN, N.R.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L.

N.; CANTERI, M. G. Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho segunda safra 2020. Londrina, PR: IDR-IAPAR, 2020. 40 p. (Boletim Técnico, n. 96).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; CAMPOS, H.D.; SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; DUARTE, A.P.; DIAS, A.R.; MUHL, A.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; CHAGAS, D.F.; BARROS, E.; BLAINSKI, E.; MOREIRA, E.N.; MEDEIROS, F.L.C.; FANTIN, G.M.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L.M.; SATO, L.N.; MULLER, M.A.; TORMEN, N.R.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G. Eficiência de fungicidas para o controle múltiplo de doenças foliares do milho segunda safra 2020. Londrina, PR: IDR-IAPAR, 2020a 38 p. (Boletim Técnico, n. 97).

FANTIN, G. M.; DUARTE, A. P. Manejo de doenças na cultura do milho safrinha. Campinas: Ed. Instituto Agrônômico, 2009. 99p.

FANTIN, L.H.; SILVA, A.L.; CANTERI, M.G. Retorno Produtivo. Cultivar Grande Culturas, Pelotas, n.216, p.12-14, 2017.

FIGUEIREDO, J.E.F; PACCOLA-MEIRELES, L.D. Diagnóstico Molecular de *Pantoea ananatis* em Milho, Sorgo e Digitaria sp. Documentos 142. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2012. 19p.

HUSSAIN, H.; RAZIQ, F.; KHAN, I.; SHAH, B.; ALTAF, M.; ATTAULLAHULLAH, W.; NAEEM, A.; ADNAN, M.; JUNAID, K.; SHAH, S. R. A.; IQBAL, M. Effect of bipolaris maydis (Y. Nisik & C. Miyake) shoemaker at various growth stages of different maize cultivars. Journal of Entomology and Zoology Studies, Delhi, v. 4, p. 439-444, 2016.

MUELLER, D. S.; WISE, K. A.; DUFALT, N. S.; BRADLEY, C. A.; CHILVERS, M. I. Fungicides for field crops. St. Paul: Ed. APS Press, 2013. 112 p.

MUNKVOLD, G. P.; WHITE, D. G. Compendium of corn diseases. 4rd. ed. St. Paul: APS Press, 2016. 165p.

NEVES, D. L.; SILVA, C. N.; PEREIRA, C.B.; CAMPOS, H. D., TESSMANN, D. J. *Cercospora zeina* is the main species causing gray leaf spot in southern and central Brazilian maize regions. Tropical plant pathology, v.40, p. 368-374, 2015.

NUTTER JUNIOR, F. W.; JENCO, J. H. Development of critical-point yield loss models to estimate yield losses in corn caused by *Cercospora zea-maydis*. Phytopathology, Saint Paul, v. 82, n. 9, p. 994, sep. 1992.

PINTO, N. F. J. A. Doenças do Milho. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.6, n.72, p.50-53, 1980.

PINTO, N. F. J. A.; DE ANGELIS, B.; HABE, M. H. Avaliação da eficácia de fungicidas no controle da cercosporiose (*Cercospora zae-maydis*) na cultura do milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v.3, n.1, p.139-140, 2004.

RANE, M.S.; PAYAK, M.M.; RENFRO, B.L.A. Phaeosphaeria leaf spot of maize. Indian Phytopath. Soc. Bulletin, v.3, p.6-10, 1965.

REVISTA CULTIVAR. Milho: mercado de fungicidas cresce mais de quatro vezes desde a safra 2014-15. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/milho-mercado-de-fungicidas-cresce-mais-de-quatro-vezes-desde-a-safra-2014-15?utm_medium=email. Acesso em: 29 jan. 2024.

ROCHA, M.G.C. Development and validation of a standard area diagram to assess corn gray leaf spot severity and foliar fungicide control efficacy. Dissertação Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2023.

SABATO, E.O.; PINTO, N.F.J.A.; FERNANDES, F.T. Identificação e controle de doenças na cultura do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2013. 198p.

WARD, J. M. J.; LAING, M. D.; RIJKENBERG, F. H. J. Frequency and timing of fungicide application for the control of gray leaf spot in maize. Plant Disease, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 41-48, 1997.

WARD, J.M.J.; NOWELL, D.C. Integrated management for the control of maize gray leaf spot. Integrated Pest Management Reviews, The Netherlands v.3, p.1-12, 1998.

WEGULO, S. N.; MARTINSON, C. A.; RIVERA-C, J. M.; NUTTER JR., F. W. Model for economic analysis of fungicide usage in hybrid corn seed production. Plant Disease, St. Paul, v.81, n.4, p.415-422,1997.

WISE, K.; MUELLER, D.; SISSON, A.; SMITH, D.; BRADLEY, C.; ROBERTSON, A. A farmer's guide to corn diseases, St. Paul: APS Press, 2016. 161p.

Capítulo 9

CONSÓRCIO DE MILHO SAFRINHA COM BRAQUIÁRIAS

Gessi Ceccon¹

Palavras-chave: *Brachiaria*, *Panicum*, *palha*.

Resumo: O consórcio de milho safrinha com braquiária é uma tecnologia utilizada por agricultores de Mato Grosso do Sul e outras regiões produtoras de soja e milho, principalmente para cobertura do solo no plantio direto. A semeadura simultânea da braquiária nas entrelinhas do milho, utilizando o mesmo maquinário da soja e do milho, e a maior produtividade da soja em sucessão, foram decisivos para superar os desafios de semear braquiária em lavouras de milho safrinha. Os benefícios do consórcio são mais pronunciados na faixa geográfica do paralelo 22, devido à maior ocorrência de adversidades climáticas da região, amenizadas com boa cobertura do solo. A *Brachiaria ruziziensis* é a espécie mais utilizada, em função da rápida cobertura do solo, custo e facilidade para dessecação. As definições fitotécnicas, como melhor espécie de braquiária e população de plantas, viabilizaram o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), específico para o ambiente “safrinha”,

¹Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agricultura, Embrapa Agropecuária Oeste, Rodovia BR 163, km 253, Dourados, MS, CEP 79.804-970, Caixa Postal 449. E-mail: gessi.ceccon@embrapa.br

e permitiu ao agricultor adquirir crédito para custeio da lavoura consorciada. Preconiza-se o ajuste na população de plantas de braquiária para não competir com o milho, mas em caso de excesso de população de plantas de braquiária e/ou presença de plantas infestantes, um herbicida específico pode ser utilizado, tanto para controlar plantas infestantes, quanto reduzir o crescimento da braquiária. Os critérios para dessecação da braquiária para semeadura da soja dependem do gênero e espécie de braquiária ou panicum, da quantidade de palha e da época de dessecação. Neste capítulo são apresentados os principais pontos para implantação do consórcio, como alternativa para “preservar” os recursos naturais e “produzir” mais grãos.

Introdução

Consórcio é o cultivo de duas espécies ao mesmo tempo e local, e requer condições para que cada uma expresse o seu potencial produtivo. No caso do milho safrinha o objetivo é produzir grãos e da braquiária ou panicum é produzir palha para cobertura do solo ou forragem para alimentação animal. Contudo, as duas espécies podem ser utilizadas para alimentação animal e cobertura prolongada do solo. Essas duas espécies juntas produzem massa com grande quantidade de folhas e colmos, e raízes com diferentes diâmetros e potenciais de exploração do perfil do solo, ideais para melhorias da infiltração e armazenamento de água do solo.

Na região Centro-Oeste e grande parte do Brasil agrícola é possível realizar duas safras por ano, uma safra de verão e

outra de outono-inverno, mas considerando que, tanto o milho, quanto braquiária e panicum são espécies de verão, e com o predomínio da soja cultivada no verão, o milho é cultivado no outono-inverno, sendo que em alguns anos agrícolas esse cultivo ocorre em condições de estresses por baixas temperaturas e/ou deficiência hídrica.

A sucessão soja-milho safrinha predomina como sistema de produção, embora tenha dois momentos críticos: o primeiro é a semeadura do milho, realizada imediatamente após a colheita da soja, que, por vezes, essas duas operações são realizadas em condições não ideais de umidade no solo, e o segundo momento está entre a colheita do milho e o novo plantio da soja, que por ser período seco ou frio permanece sem cobertura adequada, favorecendo a infestação com plantas daninhas.

O cultivo consorciado de milho safrinha com braquiária proporciona cobertura do solo após a colheita do milho, enquanto a braquiária continua a crescer, incluindo as raízes no perfil do solo, com melhoria nos atributos físicos do solo, capaz de reverter as condições adversas oriundas da colheita da soja e plantio do milho anterior. Além disso, a braquiária verde após a colheita do milho é um atrativo para pastejo, justamente num período de baixa oferta de pasto nos campos de pecuária.

O objetivo neste capítulo é apresentar o estado da arte e detalhes sobre consórcio de milho safrinha com braquiária, desde a escolha da espécie, o manejo a ser aplicado na braquiária durante o cultivo do milho e a dessecação para semeadura da soja, visando a divulgação dessa tecnologia como alternativa

para preservar os recursos naturais e produzir alimento.

Histórico do consórcio milho-braquiária

O cultivo de milho com braquiária ou panicum é bastante antigo, principalmente para formação de pastagens. Machado et al. (2011) descrevem os sistemas de consórcio em integração lavoura-pecuária, enquanto Ceccon (2011) detalha os pontos importantes a serem observados no consórcio em condições de outono-inverno. O desafio básico deste sistema é permitir a expressão do potencial produtivo das espécies com a menor competição possível.

Considerando a realidade brasileira na produção de grãos, é possível a obtenção de duas safras por ano em diversas regiões (Garcia et al., 2018). No cultivo na safra de verão, a competição entre milho e braquiária é menor, devido à maior disponibilidade hídrica (Fietz et al., 2017). O Sistema Santa Fé, que tem como base o estabelecimento de pastagens em consórcio de culturas anuais (Kluthcouski e Aidar, 2003) é uma tecnologia definida para cultivo na safra de verão.

Em condições de outono-inverno, Tsumanuma (2004) avaliou *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. decumbens* e *B. ruziziensis*, com o milho em espaçamento de 0,70 m, com as forrageiras implantadas na entrelinha, em semeadura simultânea, e no estágio V4 do milho. Os resultados foram de maior massa de *B. ruziziensis* no corte realizado durante a floração do milho. Porém, na colheita e 60 dias após, verificou maiores rendimentos de Marandu e de *B. decumbens*. Os maiores valores da *B. ruziziensis* na floração do milho demonstram

a importância dela no outono-inverno, devido ao melhor aproveitamento das condições climáticas do período. Estas espécies têm demonstrado serem importantes alternativas para produção de palha durante a estação seca, principalmente em cultivo consorciado com milho (Ceccon et al., 2013), mantendo o rendimento econômico da atividade.

No entanto, no outono-inverno, onde ocorre maior restrição hídrica, os cuidados devem ser maiores (Ceccon e al., 2014; 2018b) para não haver perdas de produtividade das culturas, principalmente do milho. Neste contexto, a utilização de linhas intercaladas de milho e braquiária (Figura 1) foi decisiva para adoção do consórcio.



Figura 1. Modalidades de consórcio. À esquerda, braquiária nas entre linhas do milho e, à direita, com milho e braquiária nas mesmas linhas. Fotos: Gessi Ceccon.

Trabalhos sobre consórcio, exclusivamente para cobertura do solo, foram publicados por Ceccon et al. (2013) e Freitas et al. (2013), mostrando resultados de braquiária e

de panicum em consórcio com milho safrinha, sem reduções significativas na produtividade de grãos do milho, desde que observados alguns critérios publicados por Ceccon et al. (2018a). Os trabalhos realizados em lavouras de agricultores, em São Gabriel do Oeste, Batayporã e Naviraí, em Mato Grosso do Sul, Cianorte e Floresta, no Paraná, assim como a avaliação do consórcio em 30 lavouras de agricultores (Ceccon et al., 2009; Melotto et al., 2013) chamaram a atenção do setor produtivo em eventos técnicos. Além disso, Ceccon (2007b) mostrou que a sucessão em consórcio apresentou retorno econômico de 10 a 15% maior que a sucessão soja-milho safrinha solteiro, o que chamou a atenção da comunidade técnica e da mídia em geral.

Na sequência, Fietz et al. (2009) publicaram resultados sobre a demanda hídrica do consórcio milho-braquiária, demonstrando a viabilidade técnica em condições de outono-inverno. Este resultado serviu de base para o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) editar o primeiro ZARC do consórcio milho-braquiária (Portarias 345 e 364 de 2009, publicadas no Diário Oficial da União em 03/12/2009 e 07/12/2009), em 2010, para o Estado de Paraná e Mato Grosso do Sul, para São Paulo em 2011, para Mato Grosso e Goiás em 2012, viabilizando aos agricultores o acesso a crédito para este cultivo consorciado.

Com a intensificação das pesquisas e seus resultados, especificamente sobre o manejo da *B. ruziziensis* em consórcio (Ceccon et al., 2009a; 2009b; 2014; 2018b), métodos de implantação (Ceccon et al., 2018a), herbicidas para supressão da

braquiária (Ceccon et al., 2010; Adegas et al., 2011), herbicidas para dessecação da braquiária (Almeida et al., 2020; Ceccon e Concenço, 2014), os benefícios para a soja e milho safrinha em sucessão (Ceccon et al., 2013), e maior lucratividade da sucessão soja/milho safrinha (Richetti e Ceccon, 2010; 2015), permitiram a ampliação do ZARC para os demais Estados brasileiros a partir de 2019, incluindo ferramentas computacionais, como o aplicativo “Plantio Certo” (Ministério, 2023).

Com as informações de pesquisa (Fietz et al., 2020) e pelo suporte ao agricultor, por meio do ZARC, a adoção do consórcio como tecnologia para cobertura de solo foi de 13,4% das lavouras em 2007 (Ceccon, 2007a), 37% em 2013 (Flores et al., 2013) e 46% em 2022 (Aprosoja, 2022), em lavouras de milho safrinha de Mato Grosso do Sul.

No entanto, a dinâmica de cultivo foi alterada: com o surgimento das biotecnologias em soja e milho, a antecipação de épocas de semeadura e mudança de espaçamento entre linhas do milho demandaram novas pesquisas para manter o consórcio como tecnologia para cobertura de solo, com o intuito de amenizar o dano das intempéries climáticas, que são cada vez mais recorrentes e de maior intensidade.

Espécie de braquiária

A escolha da espécie de braquiária para cultivo em consórcio com milho safrinha é fator que pode ser determinante para continuidade da tecnologia, sendo a facilidade para dessecação e o custo de sementes os fatores mais destacados para tomada de decisão. Em consórcio, a maior produtividade

de massa pode ser fator de competição com o milho, tendo em vista a semelhança no acúmulo de carbono nos tecidos (Tabela 1), com maior contribuição de folhas do que colmos, por serem semeadas com o milho, e por isso, também pequenas diferenças no teor de carbono entre folhas e colmos.

A *Brachiaria ruziziensis* é a espécie mais utilizada para cobertura de solo, pela maior disponibilidade e menor custo de sementes, facilidade para dessecação e pela rápida cobertura do solo (Figura 2), que embora apresente rápida decomposição após a dessecação, isso pode ser amenizado com o menor intervalo entre a dessecação e a semeadura da soja.

Tabela 1. Produtividade de massa seca, porcentagem de folhas, de colmos, porcentagem de carbono nas folhas e nos colmos em espécies em consórcio com milho safrinha, 2009.

Espécies	Massa seca	Folhas	Colmos	Carbono em folhas	Carbono em colmos
	..kg ha ⁻¹%.....			
<i>Panicum maximum</i>					
cv. Tanzânia	2.907	65,0	35,0	43,3	42,4
<i>Brachiaria brizantha</i> cv.					
Marandu	2.904	61,7	38,3	44,4	44,6
<i>B. brizantha</i> cv. Xaraés	2.765	62,7	37,3	42,7	44,3
<i>B. ruziziensis</i>	2.416	56,0	44,0	44,1	45,5
<i>B. brizantha</i> cv. Piatã	2.384	57,3	42,7	44,8	44,3
<i>B. decumbens</i>	2.303	57,3	42,7	44,4	44,7
<i>P. Mombaça</i>	2.234	81,0	19,0	42,7	42,0
<i>P. Aruana</i>	1.745	57,7	42,3	42,7	43,5
<i>P. Massai</i>	869	67,7	32,3	44,1	43,1
Locais					
São Gabriel do Oeste	1.211	58,9	41,1	44,6	43,9
Dourados	3.158	59,9	40,1	43,9	44,7
Naviraí	2.474	70,0	30,0	42,6	42,8
Média	2.281	62,9	37,1	43,7	43,8

Fonte: Adaptado de Ceccon et al. (2011b)



Figura 2. *Brachiaria ruziziensis*. À esquerda, colmos com raízes nos nós e, à direita, o denso cobrimento do solo. Propriedade João Falcão, Batayporã, MS, 2007. Fotos: Gessí Ceccon.

Regiões de cultivo e épocas de semeadura

Tanto o milho quanto braquiária e panicum são espécies de verão. Mas considerando o predomínio da soja no verão, por critérios de mercado, o milho foi adaptado ao cultivo após a soja, estando exposto a condições de estresses por temperatura e umidade, características do outono-inverno, tendo como referência geográfica a linha do Equador, o paralelo 22 Sul (Figura 3), em que latitudes menores caracterizam clima quente e seco, e latitudes maiores caracterizam clima frio e úmido.

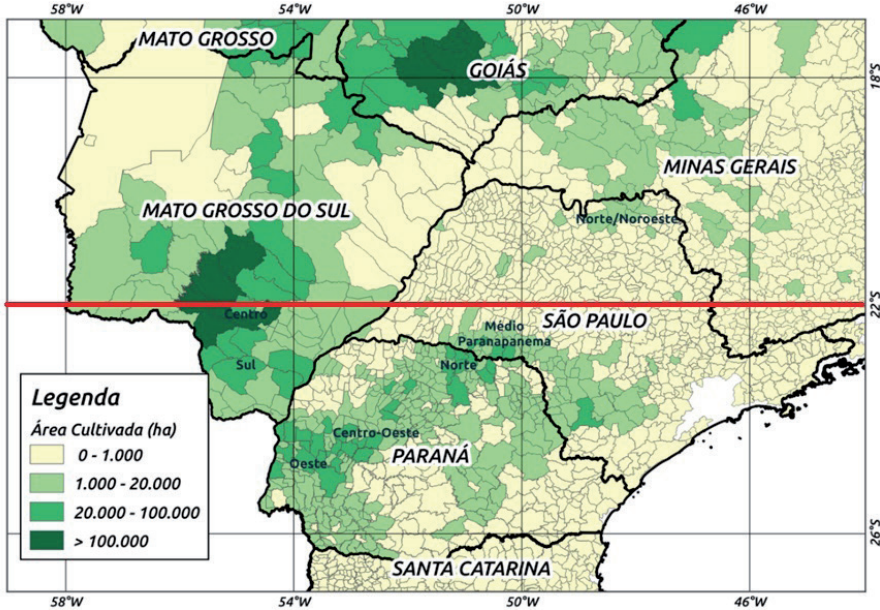


Figura 3. Região geográfica do paralelo 22 Sul legendada por áreas cultivadas com milho safrinha por município na região Sul-Sudeste do Brasil, em 2017. Fonte: IBGE. Elaborado por Éder Comunello.

Porém, devido às condições climáticas, esta faixa do paralelo 21 a 23 Sul são pouco definidas e variam entre os anos e locais. Com isso, a palha para cobertura do solo e raízes para a comunicação solo-planta-atmosfera são decisivas para manutenção da produtividade das culturas.

Considerando apenas o período do plantio do consórcio até a dessecação da braquiária para semeadura da soja, em locais de maiores latitudes, tem-se maior risco de perdas de milho por geadas (Ceccon et al., 2011a), enquanto em latitudes menores, os

riscos são devidos às estiagens prolongadas (Figura 2), podendo ocorrer perdas de produtividades, tanto por geada quanto por seca, principalmente em altitudes inferiores a 500 m (Ceccon et al., 2017). Porém, mesmo neste cenário de perdas, a braquiária tem a habilidade de rebrotar e continuar seu crescimento, justificando seu cultivo com milho safrinha. Assim, o milho consorciado tem mais riscos de perdas na produtividade, seja por geada, ou por menor disponibilidade hídrica (Figura 4), normal do período, o que acarreta menor emergência de braquiária. Por isso, é necessário utilizar critérios, como o ajuste na população de plantas de braquiária, que possam diminuir a competição com o milho.

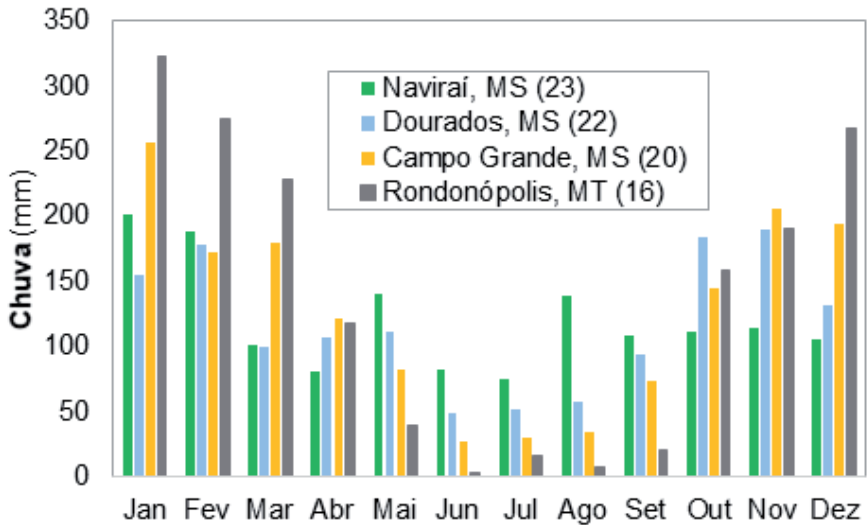


Figura 4. Chuvas médias mensais de cinco anos registradas em Naviraí (paralelo 23), Dourados (paralelo 22), Campo Grande (paralelo 21) e Rondonópolis (paralelo 16).

Fonte: Copasul, Embrapa Agropecuária Oeste (2023). INMET (2023).

No ambiente de outono-inverno, os cuidados devem ser maiores, pois sementeiras em épocas diferentes, com a mesma taxa de sementeira, podem gerar distintas populações de plantas de braquiária (Tabela 2), principalmente devido a não incorporação das sementes ao solo e a menor temperatura e disponibilidade hídrica nas sementeiras tardias. Considerando ainda o risco de geada e/ou seca, as sementeiras em épocas intermediárias à recomendada, encontram ambiente com temperatura e umidade adequadas (Fietz et al., 2013), suficiente para a germinação da braquiária e alta produtividade do milho. Em sementeiras precoces poderá haver maior população de plantas, e competir com o milho, enquanto em sementeiras tardias a população de plantas poderá ser insuficiente para produzir massa adequada para cobertura ao solo, que pode ser contornado com a maior taxa de sementeira nas sementeiras tardias.

Tabela 2. Produtividade de milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*, e produtividade e população de plantas de braquiária, em épocas de semeadura. Dourados, MS, 2015.

Semeadura*	Milho solteiro	Milho em consórcio	Massa de braquiária	População de braquiária
kg ha ⁻¹plantas m ⁻²
01/02	7.158 bcA	5.540 bB	1.424 b	12,2 b
15/02	8.694 aA	6.216 bB	1.519 a	13,3 a
01/03	7.659 abA	8.152 aA	738 c	6,6 c
15/03	5.996 cA	5.996 bA	364 d	1,1d

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna em cada variável, e maiúscula na linha, comparando grãos de milho, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. *Taxa de semeadura semelhante em todas as semeaduras.

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2015).

Arranjo entre híbridos de milho e braquiária

A braquiária tem seu crescimento estimulado pela luminosidade disponível no dossel. Por isso, é esperado que haja resposta diferenciada da braquiária em função do espaçamento entre linhas do milho (Figura 5), de arquitetura do genótipo de milho e sua população de plantas, conforme observado por Rocha et al. (2007) e Freitas et al. (2013). No entanto, no consórcio com genótipo de milho hiper-precoce, mesmo com maior entrada de luz para a braquiária, o milho completa o ciclo sem grande competição e a braquiária tem mais tempo para

produzir massa antes da dessecação. Híbridos mais produtivos, normalmente com maior estrutura foliar, diminuem a passagem de luz, proporcionando menor crescimento da braquiária, podendo eliminá-la quando coincidir o período chuvoso com a floração do milho.



Figura 5. Contraste de duas lavouras de consórcio milho-braquiária em função do arranjo de plantas. À esquerda, milho em espaçamento 90 cm e, à direita, em espaçamento de 50 cm entre linhas. Fotos: Gessi Ceccon.

É natural que a população de plantas, tanto de milho (Freitas et al. 2013) quanto de braquiária (Ceccon et al., 2018b) seja fator de competição entre as espécies. No ambiente da sucessão soja/milho safrinha, o primeiro plano é colher milho sem reduções na sua produtividade e, em segundo plano, porém não menos importante, é ter braquiária para produzir massa para cobertura satisfatória do solo antes da dessecação e semeadura da soja.

Em semeadura simultânea, Ceccon et al. (2018b)

verificaram que a produtividade de massa total, de milho e braquiária, foi obtida com 10 a 12 plantas por metro quadrado de braquiária e a produtividade de grãos de milho teve redução de 13 kg ha⁻¹ por planta de *B. brizantha* m⁻² e redução quadrática média de 42 kg ha⁻¹ de *B. ruziziensis* por planta m⁻², sem aplicação de herbicida para supressão do crescimento da braquiária.

Manejo da braquiária em consórcio com milho safrinha

No consórcio para produção de palha preconiza-se ajustar a população de plantas de braquiária para não competir com o milho (Ceccon et al., 2018a), a fim de evitar a utilização de herbicida, exceto a atrazina ou terbutilazina, para eliminação da soja tiguera, por ser considerada planta infestante e por multiplicar a ferrugem asiática da próxima lavoura de soja.

Em lavouras com plantas infestantes, principalmente as de difícil controle, torna-se necessária a utilização de herbicidas que também causam redução no crescimento da braquiária (Tabela 3). Neste caso, a implantação da braquiária deve ser planejada preconizando a incorporação das sementes, visando a rápida emergência para tolerar a dose do herbicida utilizado para controle de plantas daninhas (Ceccon e Concenço, 2014).

Tabela 3. Indicação de produtos e doses para manejo de plantas infestantes e redução do crescimento de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha*.

Herbicida	Produto comercial	Dose (i.a. ha ⁻¹)	Dose (PC g ha ⁻¹)
Atrazine	Atrazine	1.200 a 1.500	2.400 a 3.000
Terbutilazina**	Click	500 a 1.000	1.000 a 2.000
Mesotriona+Atrazine	Calaris***	500+50 a 1000+100	1.000 a 2.000
Mesotriona	Callisto, Proventis	60 a 72	125 a 150
Nicosulfurom	Sanson	7 a 10	175 a 250
Nicosulfurom	Accent	6 a 8	8 a 11
Tembotriona	Soberan	10 a 17	24 a 40

Fonte: Adegas et al., 2011; Ceccon et al., 2018a; Machado e Ceccon, 2023.

*Assegurar que pelo menos 80% das plantas de braquiária estejam com dois a três perfilhos, ou 15 a 20 dias após a sua emergência. **Informações confidenciais em campo. ***Indicação do fabricante. Doses maiores para estádios mais avançados da braquiária e solos argilosos.

Dentre os principais herbicidas utilizados, em doses específicas para supressão do crescimento da braquiária e eliminação de algumas plantas infestantes específicas, como capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) e capim-carrapicho (*Cenchrus echinatus*), destacam-se o mesotriona, por causar branqueamento nas folhas da braquiária (Figura 6), mas com retomada do crescimento pela braquiária 15 a 20 dias após a aplicação, e que a depender da população de braquiária e da umidade no solo isso pode demandar uma segunda aplicação; o nicosulfuron, que tem ação mais duradoura sobre a redução do crescimento da braquiária, e o tembotriona, com ação mais intensa ainda, podendo inviabilizar a produção de palha pela braquiária visando a cobertura do solo (Adegas et al., 2011).

Contudo, na presença de plantas de difícil controle, como

vassourinha (*Sorghum arundinaceum*), a aplicação de um destes três herbicidas (Machado e Ceccon, 2023) pode evitar a produção de sementes do sorgo, e torná-lo parceiro na produção de massa para cobertura após a colheita do milho. Assim sendo, a escolha do herbicida e sua dose, para manejo da braquiária com milho safrinha, estará em função da população de braquiária, da espécie infestante e da condição climática do período.



Figura 6. Consórcio com *Brachiaria ruziziensis*. À esquerda com aplicação de Mesotriona e à direita com aplicação de Nicosulfurom. Fotos: Gessi Ceccon

Dessecação da braquiária

Tradicionalmente, a semeadura da soja é realizada em “área limpa”, sem plantas verdes, sejam de espécies infestantes ou cultivadas. Dentre os fatores a serem observados para maximizar a produtividade de palha e de grãos da soja torna-se importantes considerar a espécie de braquiária, a massa produzida, a época do ano a ser realizada a dessecação, a dose

do herbicida e o tempo entre a dessecação e o plantio da soja (Tabela 4) e a posição geográfica em relação ao paralelo 22 Sul, que indica maior ou menor disponibilidade hídrica ao solo em função do período. Ainda assim, temperatura ambiente, em torno de 30°C e umidade relativa do ar próxima de 80%, e conseqüentemente o solo com umidade adequada, são as melhores condições para maior eficiência da dessecação.

Tabela 4. Doses de herbicida glifosato para dessecação de espécies cultivadas em consórcio com milho safrinha e intervalos entre a dessecação e a semeadura da soja.

Espécie/cultivar	Dose* (L ha ⁻¹)	Intervalo** (dias)
<i>Brachiaria ruziziensis</i> , <i>B. brizantha</i> cv. Paiaguás; <i>Panicum maximum</i> cv. Aruana	2 a 3	5 a 20
<i>B. decumbens</i> , <i>B. brizantha</i> cv. Marandu, Xaraés e Piatã, <i>P. maximum</i> cv. Tamani, Massai e Tanzânia,	3 a 4	20 a 30
<i>P. maximum</i> cv. Mombaça e Zuri	4 a 6	30 a 40

Fonte: Ceccon et al. (2018a). *Glifosate 360 g L⁻¹ de equivalente ácido; **intervalos maiores para dessecações antecipadas e/ou com maior quantidade de palha.

O herbicida glifosate é o principal ingrediente químico utilizado para dessecação. Mas a dessecação pode ser maximizada com a utilização de graminicidas como Cletodim, ou na aplicação sequencial com produtos de contato, como o diquat, ou associação com produtos que possuem efeito residual, como diclosulam, que podem auxiliar no manejo de plantas daninhas de difícil controle.

Importante ressaltar que parte dos resultados encontrados

na literatura refere-se à dessecação de braquiária solteira e por vezes, oriunda de pastagem perene. Mesmo neste cenário, Nepomuceno et al. (2012) verificaram ser possível dessecar a *Brachiaria ruziziensis* aos 10 dias antes da semeadura da soja, e Nepomuceno et al. (2019) verificaram redução na massa seca dos nódulos, mas sem efeito no número de nódulos, em dessecação com 1,44 L ha⁻¹ de e.a. de glifosate próximo da semeadura da soja. Dose esta que Ceccon (2019) verificou redução no índice de velocidade de emergência da soja, independente do cultivo anterior ser braquiária ou leguminosa, quando a dessecação foi realizada um dia antes da semeadura da soja.

No ambiente da sucessão soja/milho safrinha, em que o milho é colhido em período seco do ano, com pequena quantidade de massa produzida pela braquiária, sua dessecação pode ser antecipada ou prorrogada, a fim de permitir maior produtividade de massa, principalmente de raízes (Brandão, 2009), pela braquiária com as escassas chuvas do período.

A *B. ruziziensis* é a espécie que mais se adapta nesse sistema de consórcio, pela fácil dessecação (Almeida et al., 2020; Ceccon e Concenço, 2014), (Figura 7), a qual, respeitadas as condições de “tecnologia de aplicação” e quantidade de massa, pode ser dessecada em até cinco dias antes da semeadura da soja permitindo manter o solo “sempre verde” (Figura 8). Essa estratégia é mais indicada para regiões com menor disponibilidade hídrica e solos arenosos, cuja decomposição da palha é rápida. Em alguns casos a soja poderá apresentar estiolamento, e redução na altura de plantas, mas sem interferir diretamente na produtividade.



Figura 7. Áreas de *Brachiaria ruziziensis*. À esquerda contrastando com uma linha central de *B. brizantha* cv. Piatã, e à direita com *B. brizantha* cv. Marandú acima, dessecadas na mesma data e com a mesma dose de glifosate. Fotos: Gessí Ceccon.



Figura 8. Semeadura da soja cinco dias após a dessecção de *Brachiaria ruziziensis*, com 1,44 L e.a. ha de glifosate, esquerda, e soja em plena emergência à direita. Fotos: Gessí Ceccon

O consórcio ideal é aquele em que há considerável quantidade de palha produzida pelo milho e pequena quantidade pela braquiária até a colheita do milho, evitando assim a competição entre as espécies (Ceccon et al., 2013). Com isso, torna-se importante aguardar o reinício do período chuvoso para a dessecação, a fim de proporcionar maior crescimento da braquiária. Nessas áreas deve-se priorizar o plantio mais tardio possível da soja, a fim de encontrar as melhores condições de umidade no solo e permitir o máximo crescimento da braquiária. Mas o excesso de palha pode comprometer a qualidade da semeadura e a produtividade da soja. Na colheita do milho pode ser realizada a avaliação, e se necessário, realizar o manejo mecânico da braquiária, com rolo-faca por exemplo, a fim de permitir um novo ciclo de crescimento da braquiária até a semeadura da soja.

Considerações finais

O consórcio de milho com *Brachiaria ruziziensis* é uma realidade entre muitos agricultores, especialmente em Mato Grosso do Sul, por estar na faixa do paralelo 22 Sul, onde as condições climáticas são mais adversas. No entanto, tem sido adotado em todas as regiões onde é cultivada a sucessão soja/milho safrinha.

A evolução nas informações detalhadas para implantação do consórcio, incluindo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, a melhoria na qualidade de sementes de braquiária ofertadas pelas empresas, e nova geração de agricultores

no campo fizeram a diferença para que o consórcio tenha se tornado realidade.

Muitos obstáculos foram superados para a tecnologia ter seu reconhecimento e certamente novos desafios surgirão, mas frente aos benefícios do consórcio de milho com braquiária na conservação da água e nutrientes no solo e, conseqüentemente, maior produtividade das culturas, muitos agricultores continuarão a praticá-lo.

Agradecimentos

Ao pesquisador da Fundação MS e coordenador geral do XVII Seminário Nacional de Milho Safrinha, pela oportunidade para mostrar os detalhes do consórcio como tecnologia que permite Preservar e Produzir.

À Fundação Agrisus, pelos inúmeros projetos de apoio às pesquisas sobre consórcio milho-braquiária e conservação do solo.

Aos estudantes, meus orientados, pelo companheirismo, pelo acompanhamento e execução dos projetos, que nos deu grandes contribuições e lhes serviu de conhecimento e oportunidade para o mercado de trabalho.

Referências bibliográficas

ADEGAS, F. S.; ELEMAR VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P. Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária ruziziensis. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, v.46, n.10, p.1226-1233, out. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/b7GCcC9h9yF3k4bkGZ7kknP/>>.

ALMEIDA, K. de L.; FERREIRA, R. V.; SILVA, A. G. da; FERREIRA, C. J. B.; BRAZ, G. B. P.; TAVARES, R. L. M. Consórcio do milho e Brachiaria ruziziensis, época de dessecação e desempenho da soja em sucessão. Research, Society and Development, v. 9, n. 12, e13791210867, 2020.

APROSOJA/MS. Boletim Casa Rural Agricultura. Resultados safra 2022. Campo Grande: Sistema Famasul/APROSOJA-MS. Ed. nº 482/Novembro 2022.

BRANDÃO, E. D. Efeito do sistema radicular da Brachiaria ruziziensis na formação e estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho. Areia- PB: UFPB/CCA, 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Areia, PE, 2009.

CECCON, G. Cerrado: Estado da arte na produção de palha com milho safrinha em consórcio com Brachiaria. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, ano 17, n. 102, p. 3-7; nov/dez. 2007a.

CECCON, G. Desafios de sistemas integrados no milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 15, 2019. Jataí, GO. Desafios no cultivo do milho safrinha: livro de palestras. Sete Lagoas, MG: ABMS, 2019. p. 217-240.

CECCON, G. Milho safrinha com solo protegido e retorno econômico em Mato Grosso do Sul. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, ano 17, n. 97, p. 17-20; jan/fev. 2007b.

CECCON, G. Sistemas de consórcio em milho safrinha. In: *Seminário Nacional de Milho Safrinha*, 11, 2011, Lucas do Rio Verde. De safrinha à grande safra: anais. Fundação Rio Verde, 2011. p.33-38.

CECCON, G.; CONCENÇO, G. Produtividade de massa e dessecação de forrageiras perenes para integração lavoura-pecuária. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 32, n.2, p.319-326, 2014. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1003194>

CECCON, G.; CONCENCO, G.; BORGHI, E.; DUARTE, A. P.; SILVA, A. F. da; KAPPES, C.; ALMEIDA, R. E. M. de. *Implantação e manejo de forrageiras em consórcio com milho safrinha*. 2. ed. ver. e ampl. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018a. 32 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos 131).

CECCON, G.; DUARTE, A. P.; NUNES, E. da S.; RIBAS, A. L. B. Panorama dos sistemas de produção de milho safrinha na região Centro-Sul do Brasil em 2017. In: PAES, M.C.D; KAPPES, C. *Seminário Nacional [de] Milho Safrinha (14.: 2017: Cuiabá, MT)*. Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: anais do XIV Seminário Nacional [de] Milho Safrinha, Cuiabá, MT, ABMS, 2017. p. 86-106.

CECCON, G.; KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A. Manejo de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, ano 19, n. 113, p. 4-8; set/out. 2009a.

CECCON, G.; MATOSO, A. de O.; PEDROSO, F. F.; FIGUEIREDO, P. G. Consórcio de milho safrinha com *Brachiaria* em lavouras de agricultores. *Revista Plantio Direto, Passo Fundo*, ano 19, n. 109, p. 38-43; jan/fev. 2009b.

CECCON, G.; PALOMBO, L.; MATOSO A. O.; NETO NETO, A. L. Uso de herbicidas no consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis*. *Planta Daninha, Viçosa*, v. 28 n. 2, p. 359-364, abril/jun. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/TzHXWbT6dDSPFdmWmLRWZzh/abstract/?lang=pt>>

CECCON, G.; SEREIA, R. C.; ALVES, V. B.; SOARES, R. B. Geada em lavouras de milho safrinha. In: *Seminário Nacional de Milho Safrinha*, 11., 2011, Lucas do Rio Verde. De safrinha à grande safra: anais. Fundação Rio Verde, 2011a. p.93-101. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50105/1/95-103-GEADA.pdf>

CECCON, G.; SEREIA, R. C.; SILVA, J. F. da; LUIZ NETO NETO, A. FONSECA, I. C. Teor de carbono e rendimento de massa seca de folhas e colmos em forrageiras consorciadas com milho safrinha. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas*. 31/07 a 05/08. Uberlândia, 2011b. 1CD ROOM

CECCON, G.; SILVA, J. F. da; MAKINO, P. A.; NETO NETO, A. L. Consórcio milho-braquiária com densidades populacionais da forrageira no Centro-Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v.17, n.1, p. 157-167, 2018b. <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/751>

CECCON, G.; SILVA, J. F. da; NETO NETO, A. L.; MAKINO, P. A.; SANTOS, A. dos Produtividade de milho safrinha em espaçamento reduzido consorciado com populações de plantas

de *Brachiaria ruziziensis*. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. Sete Lagoas, v.13, n. 3. 2014. P. 326-335. Disponível em: <<https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/531>>

CECCON, G.; STAUT, L. A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L. A. Z.; NUNES, D. P.; ALVES, V. B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 37, n. 1: 204-212, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100021>

FIETZ, C. R.; CECCON, G.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. Época de semeadura do milho safrinha, com base na deficiência hídrica e no risco de geadas, na região sul de Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. (Embrapa Agropecuária Oeste. Circular técnica, 24).

FIETZ, C. R.; CECCON, G.; COMUNELLO, E.; SOUZA, F. R. de Demanda hídrica do consórcio milho e braquiária em Mato Grosso do sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 10. 2009. Rio Verde, GO. Anais...Rio Verde: FESURV, 2009. p. 298-303.

FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; GARCIA, R. A.; FLUMIGNAN, D. L.; CECCON, G. Demanda hídrica e coeficientes de cultivo de milho safrinha consorciado com braquiária. Agrometeoros, v. 27, p. 325-330, 2020. <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26447>.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. O clima da região de Dourados, MS. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, MS: Embrapa (Série Documentos, 138); 2017.

FLORES, A. J. M.; SANTOS, P. R.; RICHETTI, A.; CECCON, G. Sistemas de produção de milho safrinha em Mato Grosso do Sul, em 2013. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. Estabilidade e produtividade. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Disponível em: <<https://www.cpa0.embrapa.br/cds/milhosufrinha2013/palestras/3ANTONIOJOSEMEIRELESFLORES.pdf>>.

FREITAS, R. J. de; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. de S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia, v. 43, n. 1, p. 79-87, jan./mar. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pat/a/QJ3w7SmGxyfdBtyvBbsrwQh/?format=html&lang=pt>>.

GARCIA, R. A.; CECCON, G.; SUTIER, G. A. S.; SANTOS, A. L. F. Soybean-corn succession according to seeding date. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n.1, p. 22-29, 2018. <https://www.scielo.br/j/pab/a/Tg6wBNmYW4xLXXLCQnxcb7w/?lang=en>.

INMET (Brasil). Estações automáticas - gráficos. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o Sistema Santa Fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-442.

MACHADO, F. R.; CECCON G. Manejo de braquiária no consórcio com milho safrinha em lavouras comerciais. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 17., 2023, Campo Grande. Preservar e Produzir. Anais...Maracaju: Fundação MS, 2023. p. 139-140.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. Integração lavoura-pecuária-floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011 (Documentos, 110). <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/923615/integracao-lavoura-pecuaria-floresta-1-estruturacao-dos-sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria>>.

MELOTTO, A. M.; LOURENÇÃO, A. L. F. L.; GRIGOLLI, F. J.; GITTI, D. de C. - Implantação do Consórcio Milho e Capins em Mato Grosso do Sul: Principais Aspectos. In: Fundação MS. Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e culturas de inverno 2013, p. 134-157. Ed. ROSCOE, R. et al. Curitiba: Midiograf, 2013. Disponível em: < <https://www.fundacaoms.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Tecnologia-e-Producao-Milho-Safrinha-e-Culturas-de-Inverno-2013.pdf>>.

MINISTÉRIO da Agricultura e Pecuária. Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático, Aplicativo Plantio Certo. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/plantio-certo>. Acesso em: 09/11/2023.

NEPOMUCENO, M. P.; SILVA, B. P.; GIANCOTTI, P. R. F.; PEREIRA, F. C. M.; ALVES, P. L. C. A. Urochloa ruziziensis desiccation, straw quantity and position on nodulation and production of soybean 'M-SOY 7908 RR'. Planta Daninha. V. 37; e019166586, 2019.

NEPOMUCENO, M. P.; VARELA, R. M.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Períodos de dessecação de Urochloa ruziziensis e seu reflexo na produtividade da soja RR. Planta Daninha. V. 30, n. 3, p. 557-65, 2012.

RICHETTI, A.; CECCON, G. Estimativa do Custo de Produção do Milho Safrinha 2010, em Cultivo Solteiro e Consorciado com Brachiaria ruziziensis, na Região Sul de Mato Grosso do Sul. Embrapa Agropecuária Oeste. (Comunicado Técnico 157). 6p. Fevereiro, 2010.

RICHETTI, A.; CECCON, G. Viabilidade econômica do milho safrinha e da braquiária em sistemas integrados. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. 30 anos de inovação em produtividade e qualidade. Maringá: ABMS, 2015.

ROCHA, E. M.; BEUKHOF, J.; CECCON, G. Massa de Brachiaria ruziziensis EM CONSÓRCIO COM DIFERENTES POPULAÇÕES E GENÓTIPOS DE MILHO SAFRINHA (Zea mayz L.), EM MARACAJU, 2007. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados. Anais...Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007a. p. 467-471.

SANTOS, A. L. F. dos; MECCHI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; NARDI, J. W.; MAKINO, P. A.; CECCON, G. Milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária, em quatro épocas de semeadura. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. 30 anos de inovação em produtividade e qualidade. Maringá: ABMS, 2015.

TSUMANUMA, G. M. Desempenho de milho consorciado com diferentes espécies de braquiárias, em Piracicaba, SP. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.



XVII Seminário Nacional de
Milho Safrinha
Preservar e Produzir

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



CORREALIZAÇÃO

