



XIV Seminário Nacional
Milho Safrinha

*Construindo Sistemas de Produção
Sustentáveis e Rentáveis*

De 21 a 23 de Novembro 2017

**Livro de
Palestras**



XIV Seminário Nacional **Milho Safrinha**

Livro de Palestras

Construindo Sistemas de Produção Sustentáveis e Rentáveis

**21 a 23 de novembro de 2017
Cuiabá, MT**

editora técnica
Maria Cristina Dias Paes

Sete Lagoas, MG
Associação Brasileira de Milho e Sorgo
2017

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros - Embrapa Milho e Sorgo

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro - Embrapa Milho e Sorgo

Editoração eletrônica

Tânia Mara Assunção Barbosa - Embrapa Milho e Sorgo

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

Seminário Nacional [de] Milho Safrinha (14.: 2017: Cuiabá, MT).
Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis:
palestras do XIV Seminário Nacional [de] Milho Safrinha, Cuiabá, MT,
21 a 23 de novembro de 2017 / editora técnica Maria Cristina Dias
Paes. – Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017.

320 p.

Formato digital.

ISBN: 978-85-63892-07-2

1. Milho. 2. *Zea mays*. 3. Safrinha. 4. Sistema de produção. I.
Paes, Maria Cristina Dias. II. Título.

CDD 633.15 (21.ed)

Autores

Aildson Pereira Duarte

Engenheiro Agrônomo, doutor em Fitotecnia, Pesquisador Científico, Instituto Agronômico (IAC), Centro de Grãos e Fibras, Campinas, SP.

Alessandra de Fátima Fernandes

Engenheira agrônoma doutora em Fitopatologia, analista de defesa agrícola na Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Alessandro Guerra da Silva

Engenheiro Agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor na Universidade de Rio Verde (UniRV), Rio Verde, GO.

Alexandre Costa da Silva Rego

Graduando em Economia, analista na Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Alexandre Ferreira da Silva

Engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Alfredo Lucas Becher Ribas

Engenheiro agrônomo na Cooperativa Agrícola COAMO, Dourados, MS.

Álvaro Vilela de Resende

Engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Anderson Cristian Bergamin

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, professor na Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura, RO.

Carlos Alberto Rodrigues dos Santos

Engenheiro Agrônomo, consultor agrônômico na Reativa Consultoria, Balsas, MA

Claudinei Kappes

Engenheiro agrônomo, doutor em Sistema de Produção, pesquisador na Fundação MT, Rondonópolis, MT.

Eduardo de Paula Simão

Engenheiro agrônomo, doutorando em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Elizabeth de Oliveira Sabato

Bióloga, doutora em Fitotecnia, pesquisadora na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Emerson Borghi

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Emerson da Silva Nunes

Engenheiro agrônomo, coordenador técnico de culturas anuais na COCAMAR, Maringá, PR.

Flávia Cristina dos Santos

Engenheira agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Frederico Azevedo e Silva

Advogado, MBA em Agronegócios, gestor de Política Agrícola e Logística na Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Germison Vital Tomquelski

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador na Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão (Fundação Chapadão), Chapadão do Sul, MS.

Gessi Ceccon

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

Glauber Silveira

Engenheiro agrônomo, MBA em Gestão Empresarial e de Cooperativas. Produtor Rural, Vice-presidente da Associação Brasileira de Milho (Abramilho), Campos de Júlio, MT.

Heitor Cantarella

Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Fertilidade do Solo, pesquisador científico no Instituto Agronômico, Campinas, SP.

Jerusa Rech

Engenheira agrônoma doutora em Produção Vegetal, analista de defesa agrícola na Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Josiane Oliveira

Engenheira agrônoma, Fundação Chapadão, Chapadão do Sul, MS.

Juliano Ricardo Farias

Engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador e coordenador de Entomologia do Instituto Phytus, Santa Maria, RS.

Miguel Marques Gontijo Neto

Engenheiro agrônomo, doutor em Forragicultura e Pastagem, pesquisador na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Oderlei Bernardi

Engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, professor do Departamento de Defesa Fitossanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

Rodolfo Bianco

Engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Londrina, PR.

Rodrigo Lopes Ferreira

Engenheiro Agrônomo, mestre em Produção Vegetal, consultor agrônomo na Xescape Rural, Rio Verde, GO.

Roseli Muniz Giachini

Engenheira agrônoma, doutora em Agricultura Tropical, produtora rural, coordenadora da Comissão de Defesa Agrícola na Associação dos Produtores de Soja e Milho do Estado de Mato Grosso, Cuiabá, MT.

Thiago Corrêa de Souza

Biólogo, doutor em Agronomia, professor na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL, MG), Alfenas, MG.

Apresentação

A segunda safra de milho, denominada safrinha de milho, apresentou enorme crescimento nos últimos anos no Brasil, alcançando a produção de 67,25 milhões toneladas em 2016/2017, correspondendo a 68,8% do total desse cereal produzido no País neste período, com impacto positivo nas exportações brasileiras de grãos e, conseqüentemente, no PIB nacional.

Nos estados de Mato Grosso, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul, principais produtores do milho segunda safra, o financiamento da lavoura, a aplicação de tecnologias inovadoras e os avanços no sistema de produção com maximização da estrutura das propriedades evoluíram e contribuíram para ganhos expressivos na produtividade desse grão.

Várias mudanças foram percebidas na prática agrícola do milho safrinha, sendo a incorporação da genética de alto desempenho com genes de tolerância e/ou resistência a fatores bióticos, a aplicação de práticas culturais mais conservacionistas, e a

renovação nas máquinas nas propriedades, com tecnologias de informação e inteligência aportadas nos equipamentos, algumas das principais observadas na evolução do desempenho das lavouras.

Neste cenário de aumento de produção, houve o crescimento do excedente de consumo do milho no Mato Grosso. Os custos de transporte e a deficiência no sistema de estocagem favoreceram a implantação de usinas de transformação do grão em etanol, passando o milho a fazer parte da matriz energética brasileira. Nas usinas *flex* ou *full* instaladas naquele estado e em Goiás, o milho passa a ser processado, gerando o álcool e ainda dois produtos de elevado valor agregado: os grãos secos destilados (DDG), considerado um concentrado proteico destinado à ração animal, e o óleo de milho.

Como mencionado anteriormente, vários têm sido os avanços científicos e tecnológicos para a construção de sistemas de produção de milho sustentáveis e rentáveis em safrinha, e no intuito de disponibilizar alguns dos conhecimentos gerados, foram reunidos nesta publicação os textos das palestras apresentadas durante o XIV Seminário Nacional de Milho Safrinha.

A editora

Sumário

Capítulo 1

Conferência: Etanol de Milho: Situação Atual, Desafios e Perspectivas da Produção..... 12

Capítulo 2

Ecofisiologia e suas Implicações no Manejo Cultural do Milho Safrinha43

Capítulo 3

Panorama dos Sistemas de Produção de Milho Safrinha na Região Centro-Sul do Brasil em 201786

Capítulo 4

Manejo das Condições Físicas do Solo em Sistemas de Produção Intensificados..... 107

Capítulo 5

Construção da Fertilidade do Solo e Manutenção de Ambientes de Elevado Potencial Produtivo..... 144

Capítulo 6

Adubação de Sistemas Produtivos: Milho Safrinha e Soja..... 173

Capítulo 7

Enfezamentos e Viroses no Milho 196

Capítulo 8

Estratégias de Monitoramento e Manejo de Percevejos nas Fases Iniciais de Desenvolvimento do Milho Safrinha..... 220

Capítulo 9

Manejo da Lagarta-do-Cartucho em Lavouras de Milho Convencionais e Transgênicas Bts..... 241

Capítulo 10

Refúgio como Estratégia de Manejo da Resistência de Insetos para Eventos de Milho Bt..... 252

Capítulo 11

Panorama dos Sistemas de Produção de Milho Safrinha nas Regiões Centro Oeste e Nordeste do Brasil 282

Capítulo 1

Etanol de Milho: Situação Atual, Desafios e Perspectivas da Produção

Glauber Silveira

Frederico Azevedo e Silva

Alexandre Costa da Silva Rego

Introdução

O milho tornou-se uma importante cultura para o Estado de Mato Grosso, com uma produção em franco crescimento. Analisando-se apenas a chamada segunda safra, Mato Grosso passou de 911,1 mil hectares para 4,61 milhões de hectares semeados entre 2005 e 2017. Da mesma forma, a produção saltou de 3,55 milhões de toneladas para 28,6 milhões de toneladas, de acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017a). As expectativas são de que esse movimento continue ocorrendo, uma vez que a projeção é de que em 2025 a produção deverá ser de 38,53 milhões de toneladas, de acordo com o Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2015).

Essa grande produção gera benefícios, mas também desafios. Há a necessidade de se agregar valor à produção com uma indústria beneficiadora mais próxima, gerando uma gama de vantagens para o setor, dentre elas a redução do custo de

transporte. Este, por sua vez, representou em 2017 um deságio bastante significativo sobre o preço pago ao produtor, de forma que o custo do frete de grãos médio entre Sorriso-MT a Santos-SP – o principal porto de escoamento – foi de R\$ 15,51/sc (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017b) enquanto que o preço de venda do produtor estava entre R\$ 10,00/sc e R\$ 14,00/sc. Em razão disso, houve a necessidade de se acionar os mecanismos de comercialização da PGPM - Política de Garantia de Preços Mínimos, elevando a receita bruta do produtor sobre a produção leiloada para R\$ 16,50/sc. Em um cenário com um custo logístico menos oneroso, pode-se dizer, por indução, que a PGPM não teria sido tão crucial para garantir a renda dos produtores mato-grossenses como foi nos anos de 2013, 2014 e 2017.

O mercado sucroalcooleiro brasileiro, baseado atualmente na cadeia de cana-de-açúcar, vive grandes dificuldades, comprovadas pelas inúmeras usinas que fecharam suas portas, além de tantas outras em processo de recuperação judicial. A introdução do milho como uma cultura complementar poderá ajudar na melhoria da sustentação econômica, principalmente na perspectiva da oferta, especialmente porque existem cadeias consumidoras dos subprodutos derivados do etanol de milho, que deverão possibilitar outros produtos a serem vendidos. Um outro aspecto interessante do etanol de milho é a possibilidade de produção durante todo o ano, visto que é possível fazer estoque de médio/longo prazo do insumo, o milho, alternativa indisponível no caso da cana-de-açúcar.

Apesar de ser uma discussão existente em Mato Grosso desde 2004, observa-se uma maior atenção ao tema nos últimos anos, especialmente com a instalação de novas unidades industriais

no estado para beneficiamento do milho, trazendo ao mercado expectativas de aumento da produção do subproduto no estado.

Paralelamente, existem oportunidades no que diz respeito a mercado consumidor do etanol gerado a partir do milho mato-grossense, além do fato de que a demanda pelo DDG oriundo desse beneficiamento pelas cadeias de bovinocultura, piscicultura, suinocultura e avicultura deverá ser firme e crescente, dada a expectativa de aumento da produção dessas cadeias, principalmente pelo incremento em suas produtividades. Dessa forma, as vantagens econômicas da implantação das usinas de etanol de milho, seja em modelo *full* de milho, seja em modelo flex – onde são utilizados como insumos tanto milho quanto a cana-de-açúcar, serão demonstradas, assim como os desafios para sua implantação.

A Produção de Milho em Mato Grosso

Mato Grosso se utilizou do milho como uma importante alternativa agrônômica para a segunda safra, após a colheita da soja, estabelecendo um modelo produtivo que, a cada safra, aumenta sua área e expectativa de produção, ampliando a importância da cultura na atividade econômica do estado, mas, por outro lado, gerando pressão de baixa nos preços pagos ao produtor. A produção deste cereal saltou de 5,1 milhões de toneladas na safra 2006/2007 para 30,4 milhões de toneladas na safra 2016/2017 (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a), um aumento de quase 600% em 10 anos. Os dados da Conab são semelhantes indicando um aumento de área de 911,1 mil hectares para 4,61 milhões de hectares

semeados entre 2005 e 2017, com um aumento de produção de 3,55 milhões de toneladas para 28,6 milhões de toneladas (CONAB, 2017a).

As projeções da produção são ainda mais animadoras, em uma perspectiva de crescimento da atividade cuja projeção de produção de milho em Mato Grosso é de 38,53 milhões de toneladas em 2025 (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2015). Destaca-se que, do total da área semeada de soja no estado, 9,4 milhões de hectares, 4,74 milhões de hectares foram utilizados para semear o milho segunda safra, de forma que 50,4% da área de soja é utilizada na segunda safra para cultivo do cereal. Além disso, há expectativa no mercado de que as áreas de pastagem com aptidão agrícola sejam convertidas em área de soja. Desta forma, há duas possibilidades claras de aumento da área de milho em Mato Grosso: uma pelo aumento da área de soja pela conversão de áreas de pastagem em lavouras, o que indiretamente expande a área de milho; e a segunda, pelo aumento do próprio *share* da área de milho em relação à área de soja.

Apesar dessa produção exponencial, o estado beneficia internamente apenas 15% da produção total, de forma que no quesito demanda o destaque são as exportações internacionais do produto in natura, que representam 57% da produção (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a).

A partir dessa grande produção, um problema gerou-se. Partindo-se da máxima econômica de oferta e demanda, o preço de venda do produto pelo produtor rural atinge em muitos casos patamares abaixo do preço mínimo estabelecido pelo Governo Federal, como pode se observar nos anos de

2013, 2014 e 2017, surgindo a necessidade de se acionar o Programa Geral de Preços Mínimos, de forma a auxiliar a comercialização e o escoamento da produção através dos programas de comercialização da Conab. É importante destacar que Mato Grosso representa 31% da produção nacional de milho e, quando o parâmetro é somente a segunda safra, a participação aumenta consideravelmente, passando a representar 46% da produção.

A oportunidade para instalação das usinas de etanol de milho decorre da grande quantidade do seu principal insumo, o milho, com baixo custo, além de mercados de consumo dos subprodutos gerados a partir da industrialização deste milho, seja como aumento do consumo previsto de etanol, hidratado ou anidro, seja na nutrição animal nas cadeias de suinocultura, avicultura, bovinocultura e piscicultura.

Pensando-se em um sistema agroindustrial concebido por Davis e Goldberg (Zylbersztajn & Neves, 2000), observa-se que a cadeia de milho ligada ao etanol movimentaria, apenas considerando insumos e produtos, o que segue no fluxo de insumos e produtos, segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES (Milanez et al., 2014) e IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a), conforme **Figura 1**.

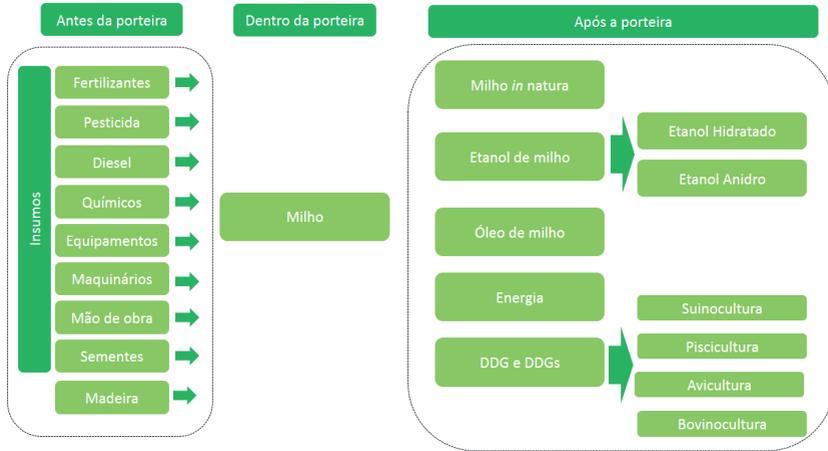


Figura 1. Sistema agroindustrial do milho.

Estudos demonstram que os preços de venda do milho disponível pelos produtores de Mato Grosso são sufocados pelos preços do frete de “ponta longa”, ou seja, com deslocamentos de grandes distâncias. A necessidade de um produto com baixo valor agregado ter um deslocamento tão longo para que atinja os pontos consumidores é uma dificuldade do setor em Mato Grosso, dado o deságio sobre o preço pago ao produtor. A **Figura 2**, exposta no boletim semanal de milho do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (2017b), expõe essa realidade.

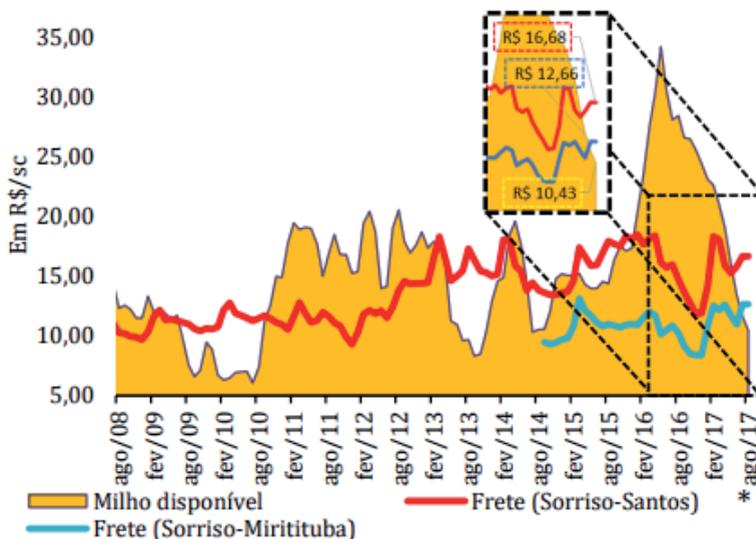


Figura 2. Preços de milho disponível X frete rodoviário.

Observa-se que do início de 2013 até o início de 2016 o preço disponível do milho em Mato Grosso majoritariamente esteve abaixo do custo do frete, ambos em reais por saca. A partir de 2016, até fevereiro de 2017, o preço do cereal apresentou uma grande valorização, isso diante de dois fatores preponderantes. O primeiro deles foi a alta do dólar, que possibilitou a exportação recorde de milho brasileiro (aí incluído o mato-grossense) naquela safra, gerando um desabastecimento interno do cereal, e consequentemente uma pressão de alta nos preços. O segundo, a quebra na safra 2015/2016, que deu continuidade ao desabastecimento interno de milho, de forma que a demanda não pôde ser atendida, mantendo a pressão altista na cotação do cereal. Salvo nessa conjectura, o preço do milho em Mato Grosso, se analisadas as divulgações do IMEA, apresenta historicamente patamares baixos em relação ao ponto de equilíbrio, sendo o grande vilão o custo de transporte.

Apesar dos esforços para a melhoria da logística de escoamento da produção, não se espera que tal dificuldade se arrefeça satisfatoriamente, pois o modal utilizado no Brasil, o rodoviário, é o que apresenta dentre todos os modais o maior deságio na formação dos preços das commodities agrícolas.

Nesse sentido, a utilização desse cereal dentro do estado é uma alternativa para o desenvolvimento do setor. Com sua utilização mais próxima das áreas produtoras, o custo de transporte deve ser menor, de forma que os compradores podem oferecer preços mais remuneradores aos produtores sem prejudicarem suas margens de lucro. O etanol de milho, no âmbito do consumo interno do cereal, desenha-se como uma realidade patente para que haja o crescimento não só do consumo mais próximo à produção, mas também do desenvolvimento de outras cadeias produtivas do estado, gerando integração das agroindústrias e aumento da renda agregada em Mato Grosso.

Observa-se que o insumo mais importante para a produção do etanol de milho, ou seja, o próprio milho, historicamente tem uma cotação média atrativa em Mato Grosso para mercados consumidores em relação a outras praças do País. Outro fator importante é que o cereal possui uma pressão baixista de preço, uma vez que há estimativa de crescimento da produção, sem necessariamente haver uma demanda estabelecida que acompanhe a evolução dessa oferta. Esses dois pontos são o suficiente para chamar a atenção dos produtores de etanol. Em suma, a implantação de usinas de etanol de milho no estado é altamente benéfica para o setor como um todo, pois possibilita demanda constante da produção local de milho, e em paralelo possibilita a compra desse insumo a preços adequados para manutenção do negócio, como será demonstrado mais à frente.

O Etanol

Características

O etanol é um álcool composto por um único tipo de molécula e é utilizado como combustível, podendo ser produzido pelas mais diversas matérias-primas que podem ser divididas em três categorias. A primeira são os sacarídeos que são produzidos a partir de cana-de-açúcar, sorgo sacarino, beterraba e sucos de fruta em geral e são assim nominados porque são produzidos a partir da sacarose liberada por esses produtos. Já o segundo grupo são os amiláceos, que produzem etanol a partir de mandioca, milho e outros cereais de um modo geral e que são chamados assim porque produzem etanol a partir da liberação do amido. Por fim, o terceiro grupo é produzido a partir de matérias-primas celulósicas, em que o etanol é gerado de eucalipto, marmeleiro, serragem, bagaço de cana, dentre outros, e que possui esse nome porque é produzido a partir da liberação da celulose (MACEDO, 1993).

Mercados para Uso do Etanol de Milho

Um fator importante para a produção do etanol de milho decorre de seus possíveis mercados consumidores. No ano de 2017, a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - ANFAVEA indicou uma franca recuperação da produção de veículos automotores saltando de uma produção mensal de 169.162 veículos leves em janeiro de 2017 para 250.234 em agosto de 2017 (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2017). No mesmo sentido, os indicadores de exportação de veículos são impressionantes, saltando de uma exportação de 334.219 veículos em 2014 para

566.266 em 2017, isso considerando-se que os dados de 2017 estão compilados até agosto de 2017, ou seja, a expectativa de exportação é ainda maior.

Isso corrobora os indicadores de que a produção de veículos nacionais leves (utilizadores de etanol hidratado nos veículos flex ou etanol anidro, utilizadores desse tipo de etanol misturado na gasolina) terá uma grande projeção, saltando de uma frota interna de 36,2 milhões de veículos, com um percentual de 35% deles flex em 2016, para 44 milhões, com um percentual de 33% flex, segundo *outlook 2026* da Federação das Indústrias de São Paulo (2016) (**Figura 3**).

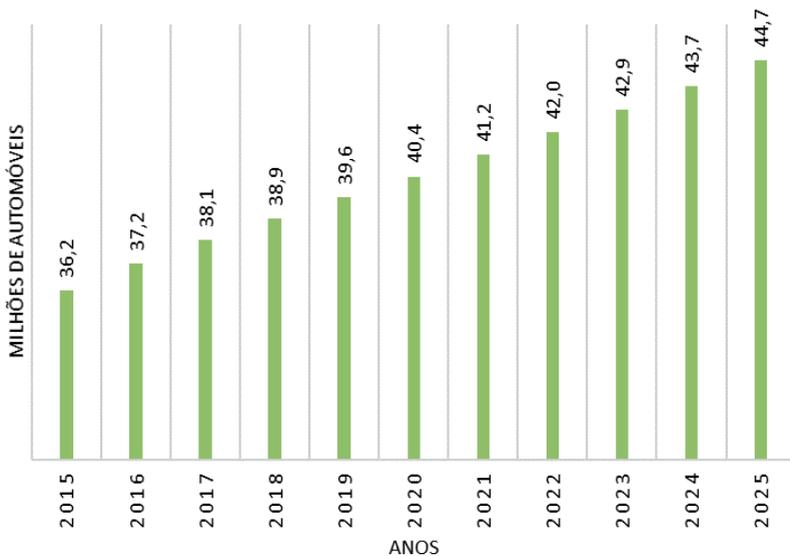


Figura 3. Projeção da frota brasileira.

Um estudo elaborado pela Renovabio (Brasil, 2017) indica que a produção de etanol deve apresentar um crescimento maior em relação à produção de gasolina (**Tabela 1**). Os dados indicam

que o consumo de gasolina deve ter um crescimento de 193%, enquanto que o crescimento do consumo de etanol será de 378% - saltando de 10,56 bilhões de litros em 2005 para 39,95 em 2030 (**Figura 4**) (Brasil, 2017).

Tabela 1. Consumo nacional de combustíveis realizado e projetado.

| Produto | 2005 | 2016 | 2025 | 2030 |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Consumo em bilhões de litros | | | | |
| Etanol hidratado | 4,67 | 14,59 | 21,01 | 27,35 |
| Etanol anidro | 5,89 | 11,62 | 11,99 | 12,6 |
| Gasolina | 17,67 | 31,4 | 32,41 | 34,07 |
| Total consumo | 28,23 | 57,61 | 65,41 | 74,02 |
| Consumo total etanol | 10,56 | 26,21 | 33,00 | 39,95 |
| Consumo total gasolina | 17,67 | 31,4 | 32,41 | 34,07 |

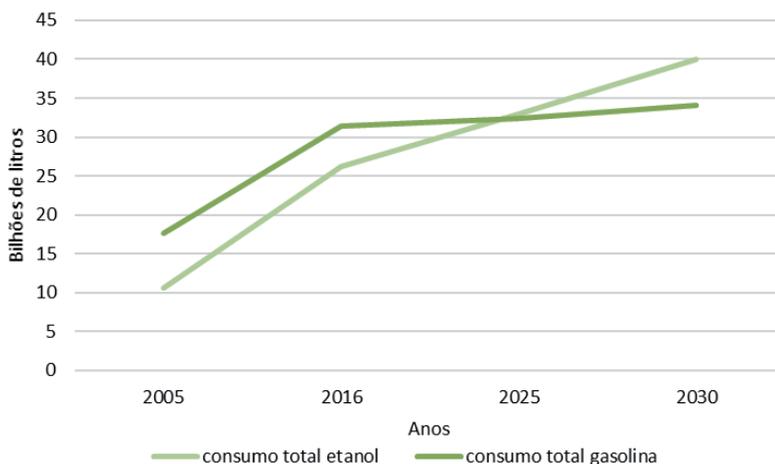


Figura 4. Consumo nacional de etanol (hidratado e anidro) X comparativo à gasolina.

Os potenciais mercados consumidores atualmente fazem abastecimento preferencialmente com gasolina, pela falta de competitividade de preço do etanol. Isso acontece nos estados do Norte, cuja frota geral é de 1.511.259 veículos automotores. Da mesma forma, os estados do Centro-Oeste possuem uma frota de veículos leves de 4.272.304 veículos. Além disso, o mercado brasileiro mais aquecido é São Paulo, com uma frota de veículos leves de 17.247.123, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), que poderá ser abastecida, desde que a logística de remessa do etanol para tal estado seja vantajosa.

Esses números também são confirmados por estudos como o de Milanez et al. (2014) ao asseverarem que “exemplo de um produto bioenergético é o etanol derivado da cana-de-açúcar que, no Brasil, se consolidou como importante biocombustível, substituindo a gasolina em parcela importante da demanda por combustíveis veiculares. Como resultado, a participação do etanol no consumo de combustíveis líquidos de ciclo Otto saiu de 35% em 2002 para 55% em 2009”.

É importante destacar que o caso do milho em Mato Grosso é um exemplo de como a iniciativa do setor produtivo gera demanda por uma melhoria logística, sendo um caso clássico a implantação da ferrovia Vicente Vuolo, entre Rondonópolis-MT e Santos-SP, assim como a concessão da BR 364 entre a divisa de Mato Grosso/Mato Grosso do Sul e Sinop, de forma que a existência da produção irá gerar demanda para escoamento dessa produção para outros lugares, através da competitividade de preços e mercado.

Portanto, observa-se a existência de inúmeros mercados potenciais para consumo do etanol gerado a partir do milho a ser produzido no Estado de Mato Grosso, com capacidade clara de consumo desta produção.

Mercados para Uso do DDG

Um produto decorrente do processamento do milho é o WDG, sigla para *Wet Distillers Grains* (Grãos Úmidos de Destilaria, em português). Esse produto apresenta uma dificuldade logística, pois possui como desvantagem a necessidade de rápido consumo, dado que seu prazo de validade é de 3 a 5 dias, além do alto peso por conta da umidade, que impede um transporte em longas distâncias (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a). Entretanto, o WDG pode passar por um processo de secagem, cujo resultado é o DDG, *Dried Distillers Grain* (Grãos Secos de Destilaria, em português), o qual reduz as dificuldades logísticas supracitadas (Jardine et al., 2009).

É unânime na literatura as vantagens do DDG – produto seco – para a alimentação animal, por seu alto valor proteico (Lescano, 2014). Na **Tabela 2**, a composição dos grãos e DDG são comparados.

Observa-se, portanto, que o DDG possui uma alta qualidade de proteína bruta, essencial para a alimentação de animais e seu potencial crescimento natural, além de possuir vantagens quanto a fibra bruta e lisina, que é um aminoácido importante para essas cadeias consumidoras desse produto.

Tabela 2. Composição nutricional de DDG e milho.

| Nutrientes | Un | Lescano 2014 DDG | NCR 2012 MILHO |
|----------------|----|---------------------|-------------------|
| Matéria seca | % | 89,72 | 88,31 |
| Proteína bruta | % | 29,94 | 8,24 |
| Fibra bruta | % | 7,87 | 1,98 |
| Lisina | % | 0,820 | 0,250 |

Fonte: Lescano (2014).

Como fonte de proteínas, o DDG tem ampla aplicação nas cadeias animais, sendo que Mato Grosso possui o maior rebanho bovino do País, com 30,21 milhões de cabeças de gado (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017c), mas que ainda tem um perfil extensivo e não intensivo ou semi-intensivo.

Segundo o *outlook* 2025 do IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2015), a produção de carne bovina no estado para 2025 e prevendo uma intensificação do processo produtivo com aumento da utilização de suplementação animal por DDG e outras proteínas, há uma previsão de se chegar a um rebanho de 31,82 milhões de cabeças, aumento de 5,1% (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017c). Entretanto, com uma evolução do abate, passando dos atuais 4,7 milhões de cabeças para 7,4 milhões de cabeças (**Figura 5**), crescimento de 63,5%, assim como um aumento da produção de 1,2 milhão de toneladas para 1,9 milhão de toneladas de carne (**Figura 6**), significando crescimento de 63,15% (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2015). O próprio movimento do mercado atual, decorrente de uma política expansionista do setor, como a criação do Imac em Mato Grosso, além da abertura do mercado consumidor americano para a carne brasileira, indica um maior volume de exportação de carne bovina mato-grossense.

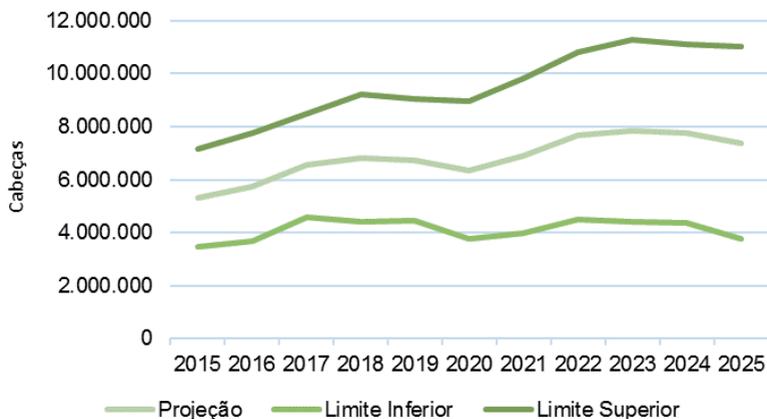


Figura 5. Projeção de abate bovino no Estado de Mato Grosso.

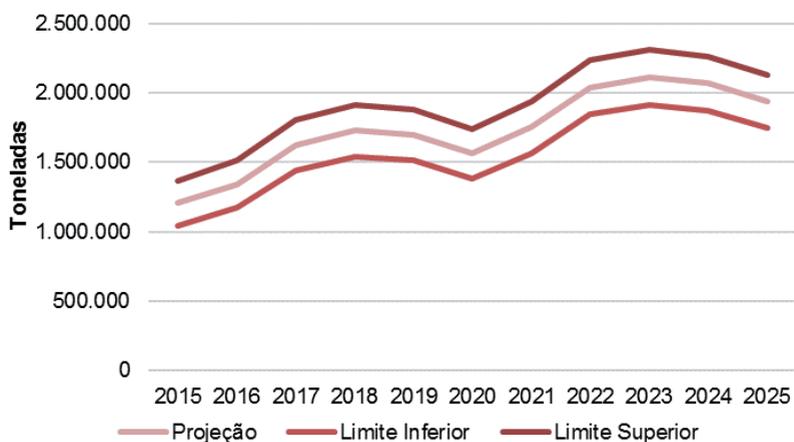


Figura 6. Projeção da produção de carne bovina no Estado de Mato Grosso.

Com relação a suinocultura e avicultura, observa-se que o milho compõe majoritariamente a dieta desses animais. Analisando a produção, quanto à avicultura, o Brasil é responsável por uma produção de 12,90 milhões de toneladas, e quanto à cadeia da

suinocultura, essa produção é de 3,73 milhões de toneladas, e Mato Grosso ainda possui pequenos rebanhos de aves e suínos comparativamente com outros estados brasileiros, ocupando o 6º lugar na avicultura e o 5º lugar na suinocultura, segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (2017) de acordo com a **Tabela 3**.

Tabela 3. *Share* da produção de avicultura e suinocultura por estado.

| Posição | Cadeia Produtiva | | | |
|---------|------------------|------------|----|--------------|
| | | Avicultura | | Suinocultura |
| 1 | PR | 33,46% | SC | 26,35% |
| 2 | SC | 16,06% | PR | 22,29% |
| 3 | RS | 14,11% | RS | 20,66% |
| 4 | SP | 9,33% | MG | 11,00% |
| 5 | MG | 7,88% | MT | 5,42% |
| 6 | MT | 4,21% | SP | 5,27% |

Fonte: Associação Brasileira de Proteína Animal (2017).

As informações apresentadas na **Tabela 3** indicam uma participação efetiva e mais acentuada dos estados do Sul (PR, SC e RS), com 63,63% e 69,3% para avicultura e suinocultura, respectivamente, ou seja, uma grande parte da produção desses importantes consumidores de milho in natura estão no Sul do País, com deslocamento do produto por longas distâncias e com alto custo de frete, como já indicado em tópico anterior.

A conversão de energia do milho em proteína, através do processo de produção de etanol que gera o DDG, deverá melhorar a qualidade de proteína a ser ofertada a essas cadeias produtivas, gerando incentivo para que elas possam melhorar a qualidade do plantel, com uma maior conversão alimentar e possibilitando um ganho de produtividade no mercado mato-

grossense. Além disso, seria possível, como alternativa de demanda pelo produto, a venda interestadual do DDG a esses mercados consumidores.

Ressalta-se que Mato Grosso está na vanguarda na implantação de usinas de etanol de milho, contando atualmente com usinas “flex”, como a USIMAT e a Libra, nos municípios de Campos de Júlio e São José do Rio Claro, respectivamente. Em julho de 2017, foi inaugurada a primeira usina exclusiva de etanol de milho, composta por uma *joint venture* entre a Fiagril e a *Summit Agricultural Group*, a chamada FS Bioenergia, que tem uma previsão inicial de consumo de 600 mil toneladas de milho, o que corresponderá a um aumento de 13,63% do consumo estadual de milho atualmente, isso tratando-se apenas do primeiro ano de operação.

Como visto, mercados potenciais para consumo dos produtos e subprodutos derivados do milho na produção de etanol possuem boa penetração no mercado estadual e interestadual. No entanto, para que, efetivamente, haja interesse na implementação dessas indústrias, fazem-se necessárias políticas de estímulo para tanto.

Perspectiva Econômica

Estudos gerados por agentes como o BNDES e IMEA indicam que a viabilidade econômica do etanol decorre precipuamente do preço do milho. Milanez et al. (2014) indicam que para que haja rentabilidade da usina de etanol “flex” o custo do milho deve estar com o *break even* apresentado na **Tabela 4**.

Tabela 4. Preço do milho x rentabilidade.

| Cenários | Preço do milho (R\$/saca) | Preço dos coprodutos do processamento do milho (R\$/T) |
|----------|---------------------------|--|
| C2a | 20,87 | 331 ¹ |
| C2b | 23,35 | 184 ¹ |
| C4 | 23,84 | 154 ¹ |
| C5 | 20,20 | 368 ¹ |
| C6 | 25,26 | 39% dos preços atuais ² |
| C7 | 26,92 | 179 ³ |

¹ DDG² VALORES DOS COPRODUTOS DERIVADOS DO MILHO³ DDGS

Fonte: Milanez et al. (2014).

Um estudo mais recente (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a), que analisa as macrorregiões do Estado de Mato Grosso e modelos produtivos com base em negócio usina, usina e eucalipto para pequenas usinas, com foco mais em produtores que queiram fazer agregação de seu valor, e negócio com base no modelo usina e usina e eucalipto com base numa usina full de milho, identificou o seguinte *break-even*, de acordo com cada região (**Tabela 5**):

Observa-se que o *break-even* indicado no estudo tanto de Milanez et al. (2014) quanto do IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a) indicam preços médios de compra do milho pela usina entre R\$ 26,00 e R\$ 36,00 por saca, e de preço de venda do etanol para a distribuidora entre R\$ 1,31/litro e R\$ 1,77/litro.

Segundo indicadores de preço de venda do etanol constantes na **Tabela 5**, na coluna “Cenário Base”, nota-se que o menor preço levantado pelo IMEA foi de R\$ 1,86/ litro, 5% acima do *break-even* mais alto dentre os investimentos relacionados nas regiões do estado, que é de R\$ 1,77/ litro. Já o melhor indicador

de preço, que foi de R\$ 2,01/ litro, ficou 14% acima. Isso demonstra que a receita bruta potencial das usinas em Mato Grosso é vantajosa para o investidor.

Tabela 5. Indicadores do *break-even*: compra de milho e venda do etanol.

| Região* | Indicadores | Cenário base | Miniusina | | Usina full | | Usina flex | |
|-------------------|--------------------|--------------|-----------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|
| | | | Usina | Usina + eucalipto | Usina | Usina + eucalipto | Usina | Usina + eucalipto |
| Médio Norte | Etanol (R\$/litro) | 1,98 | 1,56 | 1,53 | 1,35 | 1,29 | - | - |
| | Milho (R\$/saca) | 20,46 | - | - | 35,00 | 36,00 | - | - |
| Oeste | Etanol (R\$/litro) | 1,86 | 1,58 | 1,57 | 1,37 | 1,31 | - | - |
| | Milho (R\$/saca) | 20,92 | 26,00 | 26,00 | 32,00 | 34,00 | - | - |
| Centro-Sul | Etanol (R\$/litro) | 1,86 | 1,57 | 1,56 | 1,37 | 1,31 | - | - |
| | Milho (R\$/saca) | 21,09 | 26,00 | 26,00 | 32,00 | 33,00 | - | - |
| Sudeste | Etanol (R\$/litro) | 1,90 | 1,77 | 1,74 | 1,49 | 1,43 | 1,72 | 1,71 |
| | Milho (R\$/saca) | 23,92 | - | - | 33,00 | 34,00 | 27,00 | 27,00 |
| Área de expansão* | Etanol (R\$/litro) | 2,01 | - | - | 1,43 | 1,37 | - | - |
| | Milho (R\$/saca) | 22,43 | - | - | 36,00 | 37,00 | - | - |

* Regiões do IMEA

**regiões Norte, Nordeste e Noroeste

Fonte: Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (2017a)

Sob a ótica do custo de produção, analisando os dados de preços históricos do milho pagos ao produtor, observa-se a atratividade econômica dos negócios decorrentes desta produção. Analisando o histórico do preço médio disponível do milho em Mato Grosso (CONAB, 2017b), a **Figura 7** indica que, quanto ao custo de compra do milho, a usina não teve nenhum mês com índice de custo limite, indicando uma possível rentabilidade sobre os produtos decorrentes do processamento do milho.

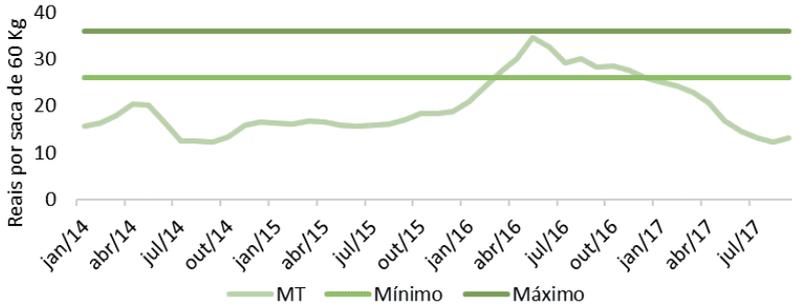


Figura 7. Preço disponível médio em Mato Grosso.

Fonte: Conab (2017b).

Partindo-se dessas premissas, a instalação das usinas mostra-se bastante atrativa para os investidores, observadas, evidentemente, as particularidades regionais. O histórico de preços do milho, isso mesmo considerando o preço disponível, cujo patamar é historicamente maior que os preços de mercado a termo, apresentou-se ao longo de toda a série histórica exposta abaixo do *break-even* de compra de insumo das usinas. Da mesma forma, os preços do etanol para as distribuidoras em Mato Grosso estão acima do *break-even* de venda do produto final, o próprio etanol.

Situação Atual do Etanol de Milho e seus Desafios em Mato Grosso

Existem inúmeras iniciativas para que a produção de etanol de milho se estabeleça de maneira intensiva no estado, possibilitando a geração de oportunidades de negócios para produtores, cooperativas e grupos empresariais, tudo de acordo com o modelo produtivo existente no estado. Mato Grosso possui atualmente doze usinas de etanol (Agência

Nacional do Petróleo, 2017b; Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a) (**Tabela 6**), sendo três “flex”, que são a Libra, Usimat e Porto Seguro, uma que produz etanol exclusivamente de milho, a FS Bioenergia, uma que produz à base de cana-de-açúcar, e outra usina exclusiva de etanol de milho está em processo de implantação, que é a Cooprodia.

Tabela 6. Usinas de etanol instaladas em Mato Grosso.

| Nome Fantasia | Município | Modelo produtivo |
|---|-----------------------|------------------|
| Cooperativa Agrícola de Produtores de Cana de Campo Novo do Parecis - Cooprodia | Campo Novo do Parecis | Cana + Milho* |
| Libra | São José do Rio Claro | Flex** |
| Usinas Itamarati S/A | Nova Olímpia | Cana |
| Grupo Barralcool | Barra do Bugres | Cana |
| Usimat | Campos de Júlio | Flex |
| Destilaria Novo Milênio | Lambari d'Oeste | Cana |
| Destilaria Novo Milênio | Mirassol d'Oeste | Cana |
| Brenco | Alto Taquari | Cana |
| Destilaria Buriti | Sorriso | Cana |
| Safras Indústria e Comércio de Biocombustíveis | Sorriso | Cana |
| Usina Porto Seguro de Açúcar, Etanol e Bioenergia | Jaciara | Flex |
| FS Bioenergia | Lucas do Rio Verde | Milho |

*Usina de cana + usina de milho separadas. Em processo de implantação.

**Mesma usina utiliza cana e milho em sua produção.

Fontes: Agência Nacional do Petróleo (2017b) e IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a)

As iniciativas para aumento da quantidade de usinas de etanol de milho passam por políticas de incentivo, como, por exemplo, políticas federais que aumentem a utilização do etanol – E27 - e seus derivados pelos setores correspondentes, além de iniciativas regionais que possibilitem demonstrar a viabilidade econômica.

Os principais desafios da produção do etanol de milho dependem das realidades regionais. Em recente estudo, o IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a) identificou os seguintes pontos fortes e fracos de regiões do Estado de Mato Grosso.

A partir dos dados coletados, seja preços, perspectivas de mercados adjacentes, custos de produção e análise de fatores positivos e negativos de acordo com cada região (**Tabela 7**), observa-se que a região Médio-Norte reúne hoje ampla condição de ser o principal vetor de produção do etanol de milho e seus derivados, decorrente da existência de ampla produção do principal insumo e pela possibilidade mais concreta de consumo do DDG produzido por possuir mercados consumidores desses produtos próximos.

Inclusive, isso foi um fator determinante para que a região fosse local de instalação da primeira usina de etanol exclusivamente de milho do Brasil. O maior desafio atual é estruturar outras regiões para que também sejam atrativas para instalação dessas usinas. A região Sudeste, por exemplo, teria como grande ganho a proximidade com grandes mercados consumidores como São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás, mercados esses a serem prospectados ainda.

Tabela 7. Pontos fortes e fracos por região.

| Região | Pontos fortes | Pontos fracos |
|--------------------|--|---|
| Médio-Norte | <ul style="list-style-type: none"> • Maior produção de milho do estado • Cidades as margens da BR 163 • Outras alternativas para o DDG por possuir o maior rebanho de suínos e aves do estado • Já possui frigoríficos e indústrias instaladas • Existe política de atração de indústria • Faculdades e centros técnicos para formação de mão de obra • Produtores e investidores locais já pensam na instalação de usina | <ul style="list-style-type: none"> • Possui apenas 20,1% da área plantada de eucalipto do estado • Rebanho bovino pouco representativo pelo tamanho do rebanho de MT |
| Oeste | <ul style="list-style-type: none"> • Oferta de milho adequada, com 14% da produção de MT • Oferta de cana adequada, representando 11,6% da área plantada do Estado • Ganhos sinergia entre cana e milho • Bagaço da cana como alternativa para geração de energia • Possui 16,2% do rebanho bovino do estado • Existe política de atração de indústria • Cooperativa local já em processo de implantação de usina full de milho anexa a uma full de cana | <ul style="list-style-type: none"> • Não possui grandes frigoríficos nem indústrias instaladas • Não há faculdades e centros técnicos para a formação de mão de obra • Baixa oferta de mão de obra qualificada • Possui apenas 9,4% da área plantada de eucalipto do estado |
| Centro-Sul | <ul style="list-style-type: none"> • Oferta de milho adequada, com 7,3% da produção de MT • Grande oferta de cana-de-açúcar, representando 48,2% da área plantada de MT • Ganhos sinergia entre cana e milho • Bagaço da cana como alternativa para geração de energia • Possui 15,5% do rebanho bovino e 6,4% do rebanho de suínos do Estado, que podem ser consumidores de DDG • Existem políticas públicas para atração de indústrias • Possui frigoríficos e indústrias instaladas • Há faculdades e centros técnicos para formação de mão de obra • Cooperativa local estuda implantar usina | <ul style="list-style-type: none"> • Possui apenas 16% da área plantada de eucalipto do estado |

Tabela 7 Cont. Pontos fortes e fracos por região.

| Região | Pontos fortes | Pontos fracos |
|-------------------------|---|---|
| Sudeste | <ul style="list-style-type: none"> • Segunda maior oferta de milho, que representa 21,6% da produção de MT • Segunda maior oferta de cana-de-açúcar, representando 25,2% da área plantada de MT • Maior oferta de eucalipto, o que representa 45,4% da produção de MT | <ul style="list-style-type: none"> • Há riscos de que os produtores de eucalipto não replantem a área atual |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Ganhos sinergia entre cana e milho • Bagaço da cana como alternativa para geração de energia • Possui 16,5% do rebanho bovino de MT e 8% do rebanho de suínos do Estado, que podem ser consumidores de DDG • Existe política de atração de indústria • Possui frigoríficos e indústrias instaladas • Há faculdades e centros técnicos para formação de mão de obra • Melhor localização do estado para escoar a produção aos mercados consumidores do Sul e Sudeste do Brasil | <ul style="list-style-type: none"> • Não foram encontradas iniciativas de implantação de usinas |
| Área de expansão | <ul style="list-style-type: none"> • Maior rebanho de bovinos de MT • Estruturação da BR-163 e ampliação da MT 322 • Proximidade do Porto de Miritituba | <ul style="list-style-type: none"> • Possui somente 9,1% da área plantada de eucalipto de MT • Responsável por apenas 12,3% da produção de milho, apesar de crescente • Políticas públicas incipientes para atração de indústrias • Baixa oferta de mão de obra qualificada • Produtores e investidores locais não pensam na implantação de uma usina hoje |

Fonte: Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (2017a).

Considerações Finais

Conforme demonstrado, o mercado de etanol de milho possui grandes oportunidades para desenvolvimento em Mato Grosso, dada a possibilidade de boa produção e do grande mercado consumidor que se avizinha.

Com relação a atratividade econômica, os estudos base apontam que a produção em grande escala garante a oferta de milho, e que o preço ideal de compra do cereal pelas usinas estaria entre R\$ 26,00 e R\$ 36,00 por saca. As cotações do milho em Mato Grosso atingiram esses patamares apenas na safra 2015/2016, em razão de uma conjuntura bastante atípica entre seca, ocasionando uma quebra climática naquela safra de milho, e alta exportação, decorrente de um dólar bastante elevado, dando uma excelente competitividade do milho brasileiro no mercado internacional. Paralelamente, o preço ideal de venda do etanol para a distribuidora entre R\$ 1,31/litro e R\$ 1,77/litro mostra-se bastante atrativo, pois o preço efetivo de venda do litro de etanol, segundo o cenário base do IMEA (Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, 2017a), fica acima desse *break-even*. Além disso, o principal subproduto da produção do etanol, o DDG, mostra-se também como uma boa oportunidade de negócio, pois há expectativas de expansão do mercado consumidor no estado, que seriam as cadeias produtivas da bovinocultura, avicultura, suinocultura e piscicultura, além da possibilidade do comércio interestadual do subproduto.

As políticas para desenvolvimento do etanol agora passam por um novo momento com a instalação da primeira usina de etanol de milho, que deverá confirmar as previsões

de rentabilidade. O sucesso do empreendimento deste modelo produtivo será preponderante para que outros grupos empresariais instalem ou aprimorem seus processos produtivos, assim como iniciativas já existentes em empresas como a Cooprodia de Campo Novo do Parecis, que já inicia a instalação de mais uma usina de etanol de milho, podendo aumentar a renda agregada da região através da criação de novos postos de trabalho.

Ademais, o potencial aumento da frota brasileira, a mudança de paradigma do consumo de etanol pelos estados do Norte brasileiro e o próprio Centro-Oeste levarão a um novo patamar o consumo de etanol, intensificando o beneficiamento do milho para produção de etanol, levando ao desenvolvimento contínuo deste mercado.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis.** Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos>>. Acesso em: 28 set. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Consulta produtores de etanol autorizados.** Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: <<http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/etanol/consulta-produtores/consulta.xhtml>> Acesso em: 5 out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2017.** São Paulo, 2017. 133 p. Disponível em: <<http://>

abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-
anuais/2017>. Acesso em: 28 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS
AUTOMOTORES. **Produção, venda e exportação de
autoveículos**. Indianópolis, 2017. Disponível em: <[http://www.
anfavea.com.br/estatisticas.html](http://www.anfavea.com.br/estatisticas.html)>. Acesso em: 28 set. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**: nota
explicativa sobre a proposta de criação da Política Nacional
de Biocombustíveis. Brasília, DF, 2017. 138 p. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/documentos/apresentacoes/renovabio-detalhamento-da-proposta-25/08/2017?p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fsecretarias%2Fpetroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis%2Fprogramas%2Frenovabio%2Fdocumentos%2Fapresentacoes%2Frenovabio-detalhamento-da-proposta-25%2F08%2F2017%3Fp_p_id%3D20%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1&_20_fileEntryId=32739680>. Acesso em: 2 ago. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento.
Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2016/17:
décimo segundo levantamento. Brasília, DF, 2017a.
Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/
arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.
pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Preços agrícolas, da sociobio e da pesca**. Brasília, DF, 2017b. Disponível em: <<http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>>. Acesso em: 2 out. 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2026: projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo, 2016.

IBGE. **Frota brasileira por estado**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>>. Acesso em: 13 out. 2017.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Projeções do agronegócio em Mato Grosso para 2025**. Cuiabá, 2015. Disponível em: <<http://IMEA.com.br/site/upload/pdf/arquivos/AgroMT2025.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Cluster de etanol de milho**. Cuiabá, 2017a. Disponível em: <http://www.famato.org.br/publicacoes_estudos.php>. Acesso em: 22 set. 2017.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Boletim Semanal do milho**: nº 465 de 4 de agosto de 2017. Cuiabá, 2017b. Disponível em: <<http://www.IMEA.com.br/upload/publicacoes/arquivos/11082017135008.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2017.

INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Boletim Semanal da Bovinocultura**: nº

473 de 29 de setembro de 2017. Cuiabá, 2017c. Disponível em: <<http://www.IMEA.com.br/upload/publicacoes/arquivos/02102017213809.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2017.

JARDINE, J. G.; DISPATO, I.; PERES, M. R. **Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. 23 p. (Embrapa Informática Agropecuária. Documentos, 94). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/informatica-agropecuaria/busca-de-publicacoes/-/publicacao/581052/indicacoes-de-aspecto-tecnologico-sobre-o-bioetanol-de-materia-prima-amilacea>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

LESCANO, D. A. **Produção de suínos: teoria e prática**. São Paulo: ABCS, 2014.

MACEDO, L. C. H. **Etanol etílico: da cachaça ao cereal**. São Paulo: Ícone, 1993.

MILANEZ, A. Y.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. E. O.; KULAY, L. A.; DONKE, A. C. G.; MATSUURA, M. I. da S. F.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; BONOMI, A.; CAPITANI, D. H. D.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; GOUVÊA, V. L. R. de. **A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n. 41, p. 147-208, 2014.

ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M. F. (Org.). **Economia e gestão dos negócios agroalimentares: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição**. São Paulo: Pioneira, 2000. 428 p. Disponível em <<http://pensa.org.br/>>

wp-content/uploads/2013/10/Economia-e-Gest%C3%A3o-dos-Neg%C3%B3cios-Agroalimentares1-1.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Capítulo 2

Ecofisiologia e suas Implicações no Manejo Cultural do Milho Safrinha

Thiago Corrêa de Souza

Introdução

A Ecofisiologia Vegetal é uma área importante nos estudos com milho safrinha, pois relaciona a planta com o seu ambiente. Existem vários fatores ambientais que podem afetar a produtividade do milho safrinha. Esses fatores podem ser divididos em bióticos e abióticos, e dependendo da intensidade podem se tornar motivos de estresse e ocasionar danos nas plantas, com consequente perda em produtividade. Nesta palestra serão abordados os fatores de estresse abiótico sobre o milho safrinha e suas implicações no manejo. Nestes quarenta minutos serão discutidas as seguintes questões: “A Ecofisiologia em estudos com milho safrinha”; “A disponibilidade de água como fator de estresse” e “A temperatura como fator de estresse”. Existem outras condições que poderiam ser abordados e que também merecem seu destaque, contudo água e temperatura são os fatores abióticos que mais interferem no cultivo do milho safrinha.

A Ecofisiologia em Estudos com Milho Safrinha

A Ecofisiologia Vegetal é uma área do conhecimento que estuda a resposta dos vegetais a fatores ambientais. Tudo que está externo à planta e que pode influenciá-la é chamado de fator ambiental. Existem fatores ambientais bióticos, como interação do milho safrinha com ervas daninha, fungos, bactérias, vírus e insetos, e existem os fatores abióticos, como a radiação, temperatura, umidade, compostos químicos (envolvendo a fertilidade ou a toxicidade de metais pesados), dentre outros.

O efeito desses fatores ambientais no milho safrinha dependerá de sua intensidade, duração e da época em que eles ocorrem. Fatores que estão na intensidade/quantidade ótima (ideal) proporcionam a planta condições fisiológicas ideais, ou seja, ela não sofre nenhum dano. No entanto quando esses fatores conduzem a um desvio das condições fisiológicas ótimas eles são chamados de fatores de estresse ou apenas estresse e acabam causando prejuízos. As plantas reagem ou respondem às mudanças destes fatores, e estas reações são utilizadas para medir a força do estresse (Schulze et al., 2005). Por exemplo, quando uma planta de milho não recebe água (estresse hídrico), ela pode perder pigmentos em folhas maduras como a clorofila (resposta conhecida como senescência) e também responder produzindo novas folhas com menor área. Praticamente toda planta no planeta Terra está respondendo ou respondeu a algum fator de estresse, mas existem adaptações que permitem às plantas terem uma maior sobrevivência, e especificamente no assunto abordado neste momento, a maior produção de grãos.

Além da intensidade, os efeitos do estresse dependem também da duração (tempo de exposição ao estresse), da genética da planta e do seu “histórico”, ou seja, os estresses que a planta viveu até aquele momento (Larcher, 2004). No caso do milho safrinha, podemos trazer algumas perguntas e afirmações que nos ajudam a entender estes aspectos: duração (“Quantos dias de baixas temperaturas a lavoura passou?”); genética da planta (“Um híbrido teve maior rendimento de grãos que o outro na safrinha.”); histórico (“Neste ano as plantas de milho sofreram por estresse de frio seguido de deficiência hídrica.”)

Nos levantamentos de grãos do Brasil é notória a importância do milho de segunda safra ou safrinha. Em décadas passadas ele correspondia a uma pequena produção, mas em 2015/2016 foram colhidos 61,13 milhões de toneladas de milho, sendo 40,77 milhões de toneladas na safrinha. Levantamentos de julho de 2017 estimam uma produção de milho na safrinha de 65,63 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Apesar do aumento da produção do milho de segunda safra, as condições climáticas desfavoráveis com certeza ainda são um impasse frequente a ser resolvido no cultivo. Assim, a disponibilidade de genótipos mais adaptados às condições de plantio pode ser ponto-chave no seu manejo cultural. Para se chegar a genótipos mais tolerantes, na situação do plantio de segunda safra, é necessário um maior conhecimento das características fisiológicas (também conhecida como características secundárias) relacionadas à tolerância a estresses bióticos e abióticos, de forma a garantir que no futuro a agricultura do milho safrinha possa contar com genótipos cada vez mais produtivos nas condições ambientais envolvidas.

Com relação ao milho safrinha, é comum ocorrer frio nos estádios mais avançados da cultura (florescimento e enchimento de grãos) e deficiência hídrica (seca) em vários estádios de desenvolvimento (Magalhães et al., 2007). Vale ressaltar que o estágio de desenvolvimento de ocorrência dos estresses dependerá da época de semeadura. Dependendo da região, uma semeadura precoce (entre janeiro e meados de março) pode evitar danos mais sérios, como a presença da seca e frio intenso (Shioga & Gerage, 2010; Magalhães et al., 2007).

As mudanças do clima podem também trazer surpresas, mostrando a complexidade dos fatores ambientais envolvidos no milho safrinha. Interessante ressaltar, mesmo pontualmente e sem grandes prejuízos ainda contabilizados, que chuvas torrenciais, ou altas precipitações atrasaram o plantio após a soja no Centro-Oeste e até deixaram as plântulas em condições encharcadas (CONAB, 2017; Santos, 2017).

Dessa forma pretende-se com essa palestra abordar os fatores de estresse abiótico de maior relevância para o milho safrinha: disponibilidade de água e temperatura.

A Disponibilidade de Água como Fator de Estresse

A água é vital para as plantas, e a demanda de água na planta é muito específica: ela precisa ter a quantidade certa de chuva na hora certa. O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Aldrich et al., 1982). Vale lembrar que a planta absorve água do solo para atender às suas

necessidades fisiológicas e, com isto, suprir a sua necessidade em nutrientes, que são transportados junto com a água sob a forma de fluxo de massa (Magalhães et al., 2007). Sabendo que a planta de milho necessita de água em uma quantidade certa, tanto a falta quanto o excesso são prejudiciais, levando ao estresse hídrico.

Alta Disponibilidade de Água (Encharcamento)

As altas precipitações nos estádios iniciais do desenvolvimento do milho safrinha relatadas anteriormente podem deixar o solo e encharcado (alagado) e trazer alguns prejuízos para as plantas. O milho é uma cultura sensível ao encharcamento (Magalhães et al., 2008; Fries, 2006) e a presença desse estresse em estádios iniciais (até seis folhas totalmente expandidas) pode levar a maiores danos pelo ponto de crescimento da planta (meristema apical) ainda estar abaixo da superfície do solo (referência). Vale ressaltar que a planta responde rápido ao estresse, mudando metabolismo e anatomia (Dantas et al., 2001), e se o encharcamento não for contínuo, a planta de milho pode se recuperar bem.

Solos com quantidades excessivas de água apresentam como característica problemas na aeração, o que leva à condição de baixa (hipoxia) ou nenhuma (anoxia) concentração de oxigênio (Alves et al., 2002; Zaidi et al., 2003). Sem oxigênio nas raízes, a respiração mitocondrial é bloqueada e a produção de energia fica restrita à fermentação com um rendimento de 2 ATPs (Sairam et al., 2008). Com a baixa obtenção de energia (2 ATPs), a planta começa a utilizar as suas reservas, acarretando uma exaustão das reservas de açúcares. Além disso, a hipoxia diminui a condutividade hidráulica e afeta as aquaporinas,

diminuindo a absorção de água e de nutrientes da raiz, além de diminuir a fotossíntese e os pigmentos fotossintéticos (Dell'amico et al., 2001; Tournaire-Roux et al., 2003; Souza et al., 2011).

Estudos têm revelado adaptações morfológicas e anatômicas que permitem o transporte do oxigênio do caule para a raiz (difusão longitudinal) e do córtex para a rizosfera (difusão radial), deficientes em oxigênio, sendo crucial para o desenvolvimento de plantas tolerantes ao encharcamento (Colmer, 2003b; Jackson, 2008). Dessas adaptações, a principal é a presença de aerênquima, um tecido especializado caracterizado por espaços celulares constituídos de gases. Após o estresse, rapidamente, eles são formados em folhas, caules ou raízes.

Outra mudança morfológica importante no encharcamento é a formação de raízes adventícias na superfície do solo que contribuem com maior absorção de água e nutrientes em resposta à ineficiência da atividade das raízes antigas, além de reoxigenar locais superficiais onde se encontram (Colmer, 2003a). A arquitetura radicular é um importante fator para a exploração do solo (Lynch, 2007). Mudanças na estrutura radicular podem ser evidenciadas em plantas sob encharcamento, sendo que geralmente ocorre morte das raízes (principalmente de raízes mais finas) (Souza et al., 2012).

Pensando no milho safrinha, a chave para evitar o estresse por encharcamento no solo seria data de plantio para fugir do período de mais chuva, porém é complicado, pois atrasar o plantio pode em muitos casos prejudicar o rendimento de grãos futuramente, pelo risco de enfrentar falta de água. Assim, o

bom senso é que vai ditar. São poucos os materiais comerciais de milho adaptados a condições de encharcamento disponíveis no mercado com alta produtividade. Para exemplificar a tolerância de genótipos de milho ao encharcamento no Brasil pode-se citar a variedade 'BRS 4154-Saracura', que por ser uma variedade não tem grande potencial produtivo (Souza et al., 2009, 2012; Pires et al., 2015).

Baixa Disponibilidade de Água (Seca)

Quando ocorre a seca, ou seja, uma baixa disponibilidade de água no solo, o gradiente de potencial hídrico no sistema solo-planta-atmosfera é interrompido, e a planta entra em período de estresse por causa da desidratação das células e tecidos (visualmente as folhas murcham). Desta maneira, o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera não acontece e um dos primeiros sintomas é a inibição da expansão foliar, ou seja, as folhas novas ficam menores (com menor área foliar). Essa modificação é importante para a diminuição da área transpiratória. Ela ocorre porque a expansão celular na folha é totalmente inibida quando ocorre diminuição do turgor celular (célula perde água) (Larcher, 2004).

Outro efeito primário é o fechamento estomático. Este pode ser hidropassivo e hidroativo (Taiz & Zeiger, 2004). O primeiro ocorre em razão da saída de água excessiva (processo transpiratório intenso) e baixa reposição das células vizinhas. O segundo envolve a presença do ácido abscísico (ABA) nas folhas. O ácido abscísico é uma das moléculas de maior atuação no estresse por deficiência hídrica influenciando na condutividade hidráulica, e as aquaporinas, no processo de floração e também no enchimento do grão (Liu et al., 2005).

Sob baixa disponibilidade hídrica há um grande acúmulo de ABA regulando a abertura e o fechamento dos estômatos. Seu acúmulo em folhas estressadas exerce um grande papel na redução da perda de água pela transpiração. O fechamento estomático também pode ser causado pelo aumento do transporte de ABA para parte aérea (através do xilema), o qual foi produzido nas raízes, em contato com o solo seco, para a parte aérea (Schachtman & Goodger, 2008). Esta rápida resposta, constituída pelo fechamento dos estômatos, limita tanto a condutância de água (na forma de vapor) quanto a condutância do CO₂ nas folhas e conseqüentemente limita a fotossíntese, podendo assim limitar a produção (Lopes et al., 2011).

A diminuição da transpiração também eleva a temperatura foliar, pois a transpiração é responsável pelo esfriamento do dossel e este aumento da temperatura pode acarretar maior respiração (Jones et al., 2009).

Com relação à fotossíntese nas plantas de milho sob seca, além de uma limitação “estomática” que é relacionada ao fechamento dos estômatos, pode ocorrer uma limitação “não estomática” como inibição ou danificação do metabolismo bioquímico (enzimas da fotossíntese) e das reações fotoquímicas (atividade do fotossistema II) (Xu et al., 2008; Guóth et al., 2009).

Com a diminuição da assimilação do carbono, ocorre um acúmulo de ATP e NADPH e, caso a planta esteja recebendo radiação, pode ocorrer um excesso de energia na antena dos fotossistemas (principalmente no fotossistema II). Sob seca, quando as clorofilas recebem grande quantidade de energia

e os pigmentos fotoprotetores (caroteoides e xantofilas) não dão conta de dissipar a energia na forma de calor, ocorre uma dissipação desta energia para o oxigênio formando Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) gerando um estresse oxidativo. Estas espécies reativas de oxigênio podem atacar as membranas lipídicas (peroxidação lipídica), DNA, proteínas e clorofila (senescência foliar) ou ainda este excesso de energia pode levar a uma fotoinibição (Gill & Tuteja, 2010).

Apesar do processo de fotorrespiração ser mínimo em plantas do tipo C_4 , em milho sob condições de seca e condições atmosféricas controladas de CO_2 , tem-se verificado um aumento deste processo. De acordo com Sicher & Barnaby (2012), o estresse hídrico leva à inibição do bombeamento de CO_2 no processo fotossintético, desencadeando um aumento da fotorrespiração. A fotorrespiração pode ser uma forma de dissipação de energia que está em excesso e assim prevenir a produção de espécies reativas de oxigênio (Voss et al., 2013).

A diminuição da produção de fotoassimilados faz com que as plantas de milho consumam suas reservas de carboidratos (aumentam os açúcares solúveis em razão da quebra do amido) a fim de suprir a falta de energia e obter compostos osmorreguladores (Sicher & Barnaby, 2012). Desta forma, a planta de milho sem energia diminui seu crescimento e a síntese de proteínas importantes para seu metabolismo, como as enzimas. A seca do solo também induz uma diminuição de nutrientes nas plantas por causa da falta de absorção destes ou ainda pela inativação de enzimas (redutase do nitrato, por exemplo) (Lopes et al., 2011).

O efeito mais aparente da seca nos vasos de xilema do milho é a diminuição da condutância hidráulica que ocorre tanto pela falta de água disponível como pela baixa atividade/expressão das aquaporinas (proteínas responsáveis pelo transporte de água para dentro das raízes). Sem a água no xilema (traqueídeos e elementos de vasos) pode haver a formação de bolhas de ar (embolismo) ou ainda interrupção do fluxo (cavitação) em razão do estiramento (quebra) da coluna d'água (Kaldenhoff, 2008; Li et al., 2009).

A ocorrência de deficiência hídrica nas diferentes fases fenológicas da cultura do milho afeta a produtividade de formas distintas. Déficit hídrico na fase de germinação reduz a produção via diminuição do número de plantas por área (estande). Déficit hídrico durante a fase vegetativa reduz a área foliar e conseqüentemente a taxa fotossintética, reduz também a altura da planta pelo encurtamento de entrenós, diminuindo, por conseguinte, a acumulação de carboidratos. A seca ocorrendo na fase inicial de V5 pode diminuir o potencial produtivo já que nessa fase acontece a diferenciação floral. A seca no período de florescimento reduz o número de grãos, leva à dessecação do grão de pólen, a um aumento no intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), e induz a uma senescência precoce das folhas, reduzindo o suprimento de assimilados durante a fase de enchimento de grãos (Araus et al., 2011; Magalhães & Durães, 2008; Duvick, 2005). Muito embora genericamente, milhos tropicais são mais drenos-limitantes do que fonte-limitantes, visando rendimento de grãos, a parte aérea ainda é considerada importante e fundamental para o bom desenvolvimento e crescimento das plantas (Borrás et al., 2004).

Existem alguns parâmetros fisiológicos importantes que presentes no milho safrinha podem fazer a diferença na produção final frente ao estresse hídrico. Estes são baseados em mecanismos de tolerância.

Há 3 tipos de mecanismos de tolerância à seca: escape, conservação de água, e eficiência na absorção de água. No entanto, esses mecanismos não são mutuamente exclusivos e, na prática, as plantas combinam uma variedade de tipos de respostas (Jones, 1992).

Os mecanismos de *escapes* estão mais envolvidos com a fenologia e resultam na não ocorrência do órgão/planta susceptível ao estresse com o período de ocorrência do estresse. Para o milho safrinha, alguns autores demonstram que se deve optar por híbridos superprecoces a fim de evitar o estresse hídrico na fase reprodutiva (florescimento e/ou enchimento) (Heinemann et al., 2009), o que é comprovado por levantamentos de plantio de milho safrinha (Cruz et al., 2010). Isto implica estudos específicos para cada região, e também a combinação de ciclos de vida curtos com elevadas taxas de crescimento e de trocas gasosas, maximizando o aproveitamento dos recursos hídricos, florescendo e produzindo sementes antes que as reservas de água se esgotem (Cruz, 2006).

Parâmetros morfofisiológicos, tanto da parte aérea quanto radicular, estão envolvidos em mecanismos de *conservação de água*. O enrolamento foliar do milho pode indicar adaptações para diminuir a interceptação da radiação e a área de transpiração. Esse movimento do milho de enrolar suas folhas favorece um microclima e diminui a superfície de

transpiração levando a uma perda menor de água. Contudo, este enrolamento se for prolongado também pode levar a uma diminuição na captação de energia e diminuição da fotossíntese. Uma maior quantidade de células bulbiformes (células motoras presentes nas folhas) e o maior tamanho dessas células promovem uma maior abertura da lâmina foliar expondo uma maior área da folha de milho. Características relacionadas com a venação das folhas (menor distância entre os feixes vasculares) fornecem maior habilidade na translocação de fotoassimilados e maior distribuição e conservação de água nas folhas (Souza et al., 2013a; Araus et al., 2011; Entringer, 2011).

Na raiz, a presença de vasos de xilema em maior número e com menor diâmetro pode favorecer a *conservação de água* nas plantas de milho. Essas características podem indicar uma maior condutividade hidráulica, aumentando a capacidade de transporte de água (Li et al., 2009; Souza et al., 2016). As camadas de células nas raízes conhecidas como endoderme e a exoderme podem ser medidas, e uma maior espessura dessas estruturas pode indicar impedimento da saída de água dos feixes de xilema para o solo, evitando a desidratação (Souza et al., 2013a; Peña-Valdivia et al., 2005; Enstone et al., 2003; Souza et al., 2016). Assim como no encharcamento, na seca, plantas de milho mais tolerantes podem apresentar aerênquimas (câmaras de ar) nas raízes (**Figura 1**), tendo a função de favorecer maior exploração do solo e aquisição de água, pois estas estruturas decrescem o custo metabólico de raízes em crescimento por causa da diminuição da presença de células em respiração (Peña-Valdivia et al., 2005; Zhu et al., 2010; Souza et al., 2013a, 2016).

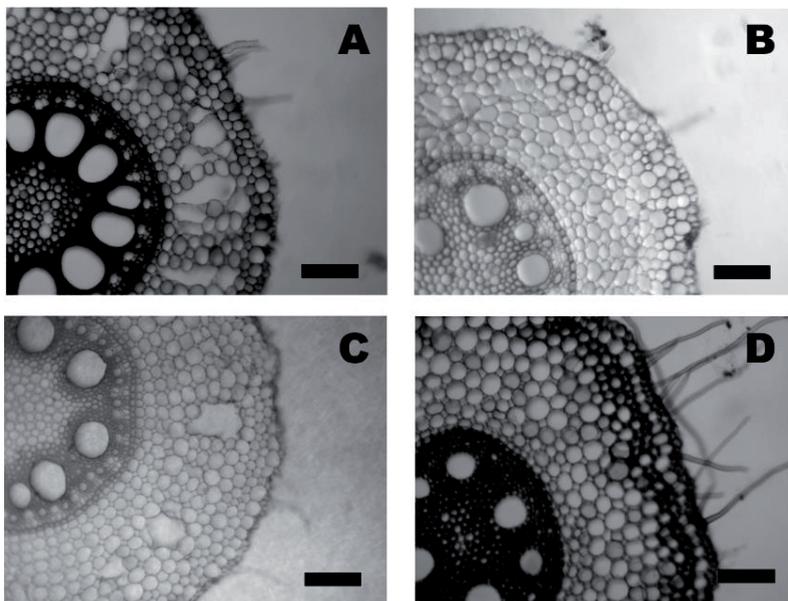


Figura 1. Fotomicrografias de secções transversais radiculares em dois híbridos contrastantes ao estresse de seca. Sensível (BRS 1030), tolerante (DKB 390). (A) DKB 390 estressado, (B) DKB 390 irrigado, (C) BRS 1030 estressado e (D) BRS 1030 irrigado. A barra corresponde a 100 μm . Fonte: Souza (2012).

Com relação à *eficiência de absorção de água*, esta maior eficiência pode ser medida pela caracterização radicular, pois genótipos com este mecanismo possuem raízes mais profundas (principalmente de raízes finas). A caracterização radicular pode ser feita por métodos de imagens digitais com associação a atributos de massa seca em condições de casa de vegetação ou de campo (Hund et al., 2009; Trachsel et al., 2011; Souza et al., 2016).

O potencial hídrico (ψ_h) e o teor relativo de água (TRA) são bons indicadores do estado hídrico da planta de milho (Yan et al.,

2017). Curvas de pressão-volume (ψ /TRA) permitem observar as propriedades das paredes celulares. Células com paredes mais rígidas (maior módulo de elasticidade) possuem menor capacidade de manter água, ou seja, apresentam uma menor capacidade de manter a turgescência (Cruz, 2006). Outra forma de avaliar o status hídrico do milho pode ser pelo fluxo de seiva, com sondas de balanço de energia (Gomide et al., 2005).

As plantas de milho podem estar sob baixa disponibilidade hídrica e tolerarem o estresse hídrico ao invés de escaparem do estresse. Um dos mecanismos de defesa frente ao estresse é o sistema de desintoxicação antioxidante via a rota de Halliwell-Asada ou ciclo do ascorbato/glutaciona, que consiste de um sistema não enzimático (moléculas de pequeno peso molecular) e de um sistema enzimático composto pelas enzimas antioxidantes (Avramova et al., 2017). Pode ocorrer o acúmulo de osmorreguladores (solutos osmoticamente ativos) nos tecidos, como prolina e outros açúcares, que podem ser agrupados como mecanismos de defesa para tolerar o estresse (Chimenti et al., 2006). O teor de alguns compostos como espécies reativas de oxigênio (ERO), ácido abscísico, malonaldeído gera entendimento sobre os mecanismos de tolerância à seca (Gill & Tuteja, 2010).

Juntamente com a fotossíntese, a fluorescência da clorofila (principalmente se for medida simultaneamente usando sistemas de trocas gasosas com câmara de fluorescência integrada) pode ajudar bastante na diferenciação de híbridos de milho e no entendimento fisiológico do processo em condições de seca (Long & Bernacchi, 2003; O'Neill et al., 2006; Souza et al., 2013b). Podem ser medidos vários parâmetros como a máxima eficiência do fotossistema (PSII) pela razão F_v/F_m ;

quenching fotoquímico (qP); quenching não fotoquímico (NPQ); taxa de transporte de elétrons (ETR); taxa fotossintética foliar (Pn), condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e eficiência do uso da água (EUA, relação entre fotossíntese e transpiração) dentre outros. Vale ressaltar que outros parâmetros, como índice e/ou densidade estomática, funcionalidade estomática (abertura dos estômatos), atividade enzimática do ciclo de Calvin, são importantes para discriminar efeitos estomáticos e não estomáticos em milho sob seca.

A Temperatura como Fator de Estresse

Não retirando a importância de outros fatores ambientais, como a água e fertilidade, mas é notório que, em plantas de milho, o crescimento e desenvolvimento se correlaciona muito com a temperatura se comparados com os outros fatores. Tanto é que no milho, em função de suas etapas de desenvolvimento, é observada a necessidade de acumular quantidades distintas de energia térmica ou calor que são designadas como unidades térmicas de desenvolvimento ou graus-dia. Os valores térmicos podem variar para cada genótipo de milho, mas pode-se estabelecer valores de desenvolvimento mínimo de 8-10 °C, ótimo de 30 °C e máximo de 40 °C (Manfron, 1985). Para o milho safrinha, tanto as baixas temperaturas quanto as altas vêm causando prejuízos.

Baixas Temperaturas

Com relação a baixas temperaturas, pode-se diferenciar dois tipos de estresse: o por resfriamento ou frio (“chilling stress”) e por congelamento (“freezing stress”). O estresse

por frio é o que pode ocorrer no cultivo de milho safrinha, pois as temperaturas são baixas, mas na maioria das vezes não o suficiente para a formação de gelo (Lukatkin et al., 2012). No cultivo do milho safrinha, as plantas passam por um determinado período de frio (às vezes apenas noites) acima do ponto de congelamento dos tecidos, mas inferior a 15 °C. Porém, em algumas regiões do Brasil, temperaturas abaixo do ponto de congelamento em razão das geadas (-3 °C a -5 °C) vêm trazendo grandes prejuízos no cultivo do milho safrinha (Ximenes et al., 2004). O estresse por frio em regiões tropicais é diferente do que em regiões temperadas. Nestas, o resfriamento ocorre de forma progressiva enquanto nas regiões tropicais o resfriamento pode acontecer de forma abrupta após um dia quente (25 a 35 °C) e ensolarado (Taiz & Zeiger, 2004). Plantas adaptadas a regiões tropicais como o milho são mais sensíveis ao frio do que outras plantas de regiões temperadas, contudo genótipos tolerantes têm sido evidenciados na literatura (Aroca et al., 2001).

Os efeitos de estresse por frio podem ser evidenciados em todas as fases de crescimento do milho, contudo vale lembrar que normalmente no milho safrinha este estresse vem ocorrendo principalmente nas fases reprodutivas. A temperatura ótima de crescimento do milho é de uma típica planta C4. Temperaturas abaixo desta faixa levam uma implicação na germinação, no crescimento, alongamento do caule e raiz, brotamento e expansão de folhas, e acúmulo de matéria seca. Com relação ao crescimento e desenvolvimento do milho sob frio, este parece ser mais influenciado pela temperatura do solo do que pela temperatura do ar. O aparecimento de folhas, desenvolvimento de raízes e de estruturas reprodutivas parecem ser muito mais dependentes

das baixas temperaturas do solo do que do ar. Até o estádio V6, pelo fato de o meristema apical estar abaixo do solo, as plantas de milho são ainda mais susceptíveis a baixas temperaturas no solo (Fortin & Pierce, 1991).

Raízes de milho desenvolvidas sob frio são mais curtas e ocorre diminuição no número de ramificações e de raízes laterais. Isto leva a uma diminuição na absorção de água e de nutrientes (por exemplo, fósforo). As raízes são afetadas muito mais na sua morfologia do que no seu acúmulo de biomassa sob estresse de frio (Kaspar & Bland, 1992).

Frio na zona radicular e/ou na parte aérea leva a uma desidratação dos tecidos (perda de turgor das células) por causa da diminuição da condutância hidráulica e menor controle estomático, contudo a condutância hidráulica parece ser o principal fator em milho (Aroca et al., 2003). Além disso, menores temperaturas levam a um aumento da viscosidade da água (e também do citossol) dificultando a absorção pelas raízes e o movimento de solutos entre células (Fennell & Markhart, 1998).

A fotossíntese em milho sob frio é inibida por vários motivos. Frio leva a degradação de pigmentos (clorose) e a modificação na membrana dos tilacoides. Frio não apenas diminui a atividade das enzimas no ciclo de Calvin, mas também altera o ritmo circadiano destas. Com a diminuição da atividade das enzimas da fotossíntese, ocorre excesso de ATP e NADPH e caso ocorra frio e altas luminosidades isto pode ser fatal por causa da fotoinibição intensa, produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) (estresse oxidativo) e aumento da fluorescência da clorofila. De acordo com Bilska & Sowinski (2010), frio

em milho modifica a estrutura do plasmodesmos, diminui a produção destes canais e, além disso, desativa os já existentes pelo depósito de calose. Essa alteração nos plasmodesmos influencia negativamente no transporte de intermediários da fotossíntese (tipo C4).

As propriedades físicas das membranas celulares e das organelas são totalmente alteradas pelo frio. Por causa da composição da bicamada lipídica das membranas, o frio pode modificar seu estado de fluido-cristalino para sólido-gel. Isto reduz a atividade de H⁺-ATPases e proteínas transportadoras de íons na membrana. Os danos das membranas podem ocorrer tanto pela ação direta do frio quanto pela ação das espécies reativas de oxigênio (peroxidação lipídica) (Lukatkin et al., 2012; Marocco et al., 2005).

O estresse por frio durante os estágios reprodutivos leva a abscisão floral, diminuição da sincronia floral, anormalidades morfológicas florais, abortamento de óvulos, esterilidade do pólen e redução do enchimento de grãos (inibição das enzimas do metabolismo de acumulação de carboidratos) (Thakur et al., 2010; Bechoux et al., 2000).

Quando ocorrem as geadas os mesmos efeitos de estresse ocorrem, porém de forma mais acentuada. Vale ressaltar ainda que o gelo na superfície foliar pode rapidamente se expandir para os espaços intercelulares, ocasionando uma desidratação e até uma ruptura da membrana plasmática (Guy, 1990).

No Brasil, existem poucos trabalhos científicos na busca de plantas tolerantes ao frio. Em milho, há uma grande relação entre tolerância ao estresse por frio e atividade da enzima

Galactolipase (Kaniuga, 2008). Parâmetros como teor e composição de ácidos graxos livres, atividade da galactolipase, peroxidação lipídica podem indicar tolerância ao estresse por frio. Plantas tolerantes tendem a ter menor atividade da galactolipases e assim menor formação de ácidos graxos livres e menor peroxidação lipídica. Genótipos sensíveis continuam produzindo ácidos graxos livres mesmo após o estresse. Assim, o período de aclimação (volta da temperatura para condições ideais) também é de fundamental importância para discriminação de genótipos tolerantes ao frio.

A habilidade das plantas de milho em ajustarem seu sistema antioxidante para diminuir a concentração de EROs é vital para a tolerância à condição de estresse por frio, por isso deve ser avaliada. Genótipos sensíveis ao frio produzem mais ERO, possuem menor maquinaria enzimática e não enzimática antioxidante (Farooq et al., 2009).

Milhos tolerantes ao frio exploram mais o solo em razão da maior presença de raízes finas laterais. Outro mecanismo morfológico de defesa contra o frio, porém da parte aérea, é um aumento da espessura da cutícula e do mesófilo nas folhas (Farooq et al., 2009; Hund et al., 2007; Verheul et al., 1996).

Da mesma forma que na seca, os parâmetros de relação hídrica como teor relativo de água, potencial hídrico foliar e condutividade hidráulica são importantes de serem avaliados já que estresse por frio ocasiona um estresse de seca. E ainda estruturas anatômicas que impedem o efluxo de água (endoderme e exoderme) também podem ser avaliadas (Steudle, 2000). A baixa quantidade de proteínas conhecidas como aquaporinas afeta negativamente a condutância

hidráulica em milho sob frio e maior quantidade dessas proteínas nas raízes vem sendo observada em plantas de milho tolerantes (Aroca et al., 2012).

Parâmetros de fluorescência e de trocas gasosas podem discriminar genótipos sob frio, pois os tolerantes possuem maior eficiência fotossintética; menor dissipação de energia na forma de fluorescência e maior atividade enzimática das enzimas da fotossíntese (Leipner, 2009).

Análise ultraestrutural celular pode indicar aspectos sobre o efeito do frio e a tolerância. Podem ser analisados os plasmodesmos; morfologia das células e organelas; amido nos cloroplastos, deformação nos tilacoides e nas cristas mitocondriais (Lukatkin et al., 2012; Bilska & Sowinski, 2010).

Os teores de açúcares orgânicos compatíveis que são osmoprotetores (estresse por frio) e crioprotetores (estresse por congelamento) (prolina, glicina-betaina, trealose, frutose dentre outros) são maiores em genótipos de milho tolerantes. Estes compostos são de baixo peso molecular, altamente solúveis e geralmente não são tóxicos em altas concentrações no citossol. Além de fornecer ajustamento osmótico, estabilização de membranas e proteínas, esses compostos também podem evitar a formação de cristais de gelo e combaterem as espécies reativas de oxigênio (EROs). Outros compostos como o etanol podem contribuir com a tolerância ao estresse por frio pelo aumento da fluidez das membranas. Esta produção de etanol está intimamente ligada à atividade da enzima Álcool Desidrogenase (ADH) (Peters & Frenkel, 2004).

Genótipos tolerantes ao frio e ao congelamento acumulam mais e de forma mais rápida o hormônio ácido abscísico (ABA). Isto porque o ABA está envolvido na estabilização das membranas, proteção e sinalização contra o estresse oxidativo, aumento da condutividade hidráulica e controle estomático (Farooq et al., 2009).

Altas Temperaturas

No cultivo de milho safrinha é comumente encontrado o estresse de altas temperaturas (calor) associado ao estresse de seca em regiões como Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e outras (Custódio, 2017; Silva, 2017). Na verdade, em condições de campo, por causa de uma interação de vários fatores de estresse, têm-se muitas reações de estresse pelas plantas simultaneamente caracterizando uma síndrome (Lopes et al., 2011). Nessas regiões citadas a temperatura do ar tem chegado a valores acima de 33 °C (Custódio & Albuquerque, 2017; Borges, 2016). Cantele (2009) relata que temperaturas do ar diurnas acima de 35 °C e noturnas acima de 24 °C afetam a produtividade do milho.

As respostas das plantas ao estresse por altas temperaturas dependem do grau de temperatura do ar, duração e tipo de planta. Em estresse extremo de calor podem ocorrer morte e danos celulares em poucos minutos (Ahuja et al., 2010). De fato, o calor pode aumentar mais ainda os efeitos negativos da seca já citados anteriormente. Isso porque em milho os estudos têm reportado que a interação do estresse calor-seca é específica e assim um genótipo tolerante à seca não tem mostrado tolerância ao calor e vice-versa. A tolerância à seca combinada

ao calor no milho é geneticamente distinta da tolerância aos estresses individuais (Cairns et al., 2013).

O estresse por calor leva a diversas alterações na germinação, crescimento e desenvolvimento, reprodução e no rendimento de grãos nas plantas (Cicchino et al., 2010). Um dos principais efeitos nas plantas do estresse por altas temperaturas é a geração excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) que conduz um estresse oxidativo como no estresse de seca. O estresse por altas temperaturas leva a maior produção de ERO principalmente nos cloroplastos (fotossistemas), embora também seja produzido nas mitocôndrias e peroxissomos (Hasanuzzaman et al., 2013). Mas o calor também altera a estabilidade de várias proteínas, membrana plasmática, transcrição de RNA, estrutura do citoesqueleto e atividade enzimática causando um desequilíbrio metabólico (Mittler et al., 2012; Parrotta et al., 2016).

Entre os estádios de crescimento da planta, a germinação é afetada em primeiro lugar. O estresse por calor exerce impactos negativos em várias culturas, incluindo o milho, como porcentagem de germinação reduzida, geração de plântulas anormais, crescimento reduzido de radícula e outros. Esses efeitos estão estritamente ligados à indução do ácido abscísico pelo calor (Essemine et al., 2010; Qu et al., 2013).

Nos estádios vegetativos ocorrem danos como diminuição do crescimento (taxa de crescimento relativo) e da área foliar, sintomas morfológicos como queimaduras solares das folhas, senescência foliar, inibição do crescimento radicular, além de mudanças no particionamento de açúcares e diminuição da biomassa (Edreira & Otegui, 2012). Em estresses extremos

podem ocorrer morte celular programada em células e tecidos levando a morte em minutos por causa da desnaturação de proteínas. Um estresse moderado pode levar a uma morte gradual ao longo do tempo (Hasanuzzaman et al., 2013).

A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao calor nas plantas. É notório que a alta temperatura tem uma maior influência sobre a capacidade fotossintética em plantas do tipo fotossintético C3 do que em milho (Planta do tipo C4) (Kumar et al., 2012; Killi et al., 2017). No cloroplasto, o metabolismo do carbono no estroma e as reações fotoquímicas nas lamelas dos tilacoides são considerados os principais locais de lesão em razão do estresse por altas temperaturas (Bita & Gerats, 2013). A membrana de tilacoide é muito suscetível ao calor, levando a uma diminuição na eficiência fotossintética e aumento da fluorescência da clorofila (Sinsawat et al., 2004). Um choque de ondas de calor reduz a quantidade de pigmentos fotossintético, principalmente por causa da peroxidação lipídica das membranas dos cloroplastos (Hasanuzzaman et al., 2013). Também um dos motivos da diminuição da taxa fotossintética é que valores acima da temperatura ótima ocasionam um aumento da respiração celular e assim uma diminuição da fotossíntese líquida (Bergamaschi & Matzenauer, 2014).

Plantas sensíveis ao calor tendem a diminuir a abertura estomática e a capacidade para sustentar as trocas gasosas foliares (Neiff et al., 2016). Assim, o calor afeta marcadamente o status hídrico da folha, a condutância estomática das folhas (gs) e a concentração de CO₂ intercelular (Ci) (Hasanuzzaman et al., 2013). O estresse por calor também reduz proteínas que formam o complexo da Rubisco (Crafts-Brandner & Salvucci, 2002; Neiff et al., 2016). A alta temperatura também afeta a síntese de

amido e sacarose, por atividade reduzida de sacarose fosfato sintase, ADP-glicose pirofosforilase e invertase (Hasanuzzaman et al., 2013; Bhandari et al., 2016).

Embora todos os estádios de desenvolvimento do milho sejam suscetíveis ao estresse por altas temperaturas, é no florescimento que a planta de milho mais sofre levando a perdas irreversíveis na produtividade (Edreira et al., 2011; Alam et al., 2017). Altas temperaturas podem levar a abortamento floral, e até a não produção de grãos dependendo do genótipo. Isso ocorre porque o calor, assim como outros estresses abióticos, prejudica a meiose nos órgãos masculino e feminino, a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico, a redução da viabilidade dos óvulos, a anomalia no estilo-estigma (Alam et al., 2017; Hasanuzzaman et al., 2013). Edreira & Otegui (2012) observaram que o estresse térmico nos períodos de floração, mais especificamente nos estágios de pré-florescimento e florescimento, resultou em maior redução no rendimento de grãos.

A tolerância ao estresse por calor em plantas cultivadas tem sido associada a um aumento da capacidade antioxidante enzimática e não enzimática para inibir o estresse oxidativo gerado (Kumar et al., 2012). Também tem sido evidenciada a produção de proteínas termotolerantes: HSP (proteínas de choque térmico) (Hu et al., 2010; Qu et al., 2013).

As mesmas adaptações que ocorrem nas plantas sob seca também são importantes para o estresse de calor, como maior presença de tricomas e cutícula foliar, enrolamento foliar e mudança de orientação foliar, dentre outras (Taiz & Zeiger, 2004).

Considerações Finais

A data de plantio ainda continua sendo a diferença no manejo do milho safrinha, pois pode evitar a presença de fatores abióticos danosos à produção. Contudo vale ressaltar que o melhoramento tradicional com a seleção de genótipos pela avaliação de características de produção e características fisiológicas, somado a ferramentas genéticas como marcadores moleculares e a transgenia, vem também contribuindo para a maior produção de grãos no cultivo de milho de segunda safra. Além disso, outras técnicas vêm ganhando destaque no aumento do rendimento de grãos em milho sob estresse abiótico, aqui especificamente voltado para disponibilidade de água e temperatura, como condicionamento pré-germinativo de sementes (*priming*) e condicionamento de plântulas por (pré)-tratamento térmico (períodos de frio), tratamento hídrico (períodos de seca) e tratamento químico (aplicação de reguladores de crescimento, pró-oxidantes, sais, açúcares, dentre outros) (Aroca et al., 2003; Farooq et al., 2009; Dolatabadian et al., 2009; Souza et al., 2013b; Li et al., 2010; Anjum et al., 2011a, 2011b, 2001c; Darkó et al., 2011; Hasanuzzaman et al., 2013; Esim & Atici, 2014; Li et al., 2017; Nawaz et al., 2016; Waqas et al., 2017).

Referências

AHUJA, I.; DE VOS, R. C.; BONES, A. M.; HALL, R. D. Plant molecular stress responses face climate change. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 15, n. 12, p. 664-674, 2010.

ALAM, M. A.; SEETHARAM, K.; ZAIDI, P. H.; DINESH, A.; VINAYAN, M. T.; NATH, U. K. Dissecting heat stress tolerance in

tropical maize (*Zea mays* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 204, n. 15, p. 110-119, 2017.

ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. **Modern corn production**. 2. ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.

ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; GOULART, P. de F. P.; DANTAS, B. F.; GOUVEA, J. A. de; PURCINO, R. P.; MAGALHÃES, P. C.; FRIES, D. D.; LIVRAMENTO, D. E. do; MEYER, L. E.; SEIFFERT, M.; SILVEIRA, T. Mecanismos de tolerância da variedade de milho "Saracura" (BRS 4154) ao alagamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 41-52, jan./abr. 2002.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; ZOU, C. M. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 197, n. 3, p. 177-185, June 2011a.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FARROQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE, L. L.; ZOU, C. M. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions. **Journal Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 197, n. 6, p. 409-417, Dec. 2011b.

ANJUM, S. A.; FAROOQ, M.; WANG, L. C.; XUE, L. L.; WANG, S. G.; WANG, L.; ZHANG, S.; CHEN, M. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. **Plant Soil and Environment**, v. 57, n. 7, p. 326-331, 2011c.

ARAUS, J. L.; SÁNCHEZ, C.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. Texcoco: CGIAR Generation Challenge Programme, 2011. p. 263-283.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

AROCA, R.; VERNIERI, P.; IRIGOYEN, J. J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; TPGMPMO, F.; PARDOSSI, A. Involvement of abscisic acid in leaf and root of maize (*Zea mays* L.) in avoiding chilling-induced water stress. **Plant Science**, Limerick, v. 165, p. 671-679, 2003.

AROCA, R.; TOGNONI, F.; IRIGOYEN, J. J.; SÁNCHEZ-DÍAS, M.; PARDOSSI, A. Different root low temperature response of two maize genotypes differing in chilling sensitivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 39, n. 12, p. 1067-1073, 2001.

AVRAMOVA, V.; ABDELGAWAD, H.; VASILEVA, I.; PETROVA, A. S.; HOLEK, A.; MAIËN, J.; ASARD, H.; BEEMSTER, G. T. High antioxidant activity facilitates maintenance of cell division in leaves of drought tolerant maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 84, 2017.

BÄNZINGER, M.; EDMEADES, G. O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice** México, DF: CIMMYT, 2000. 68 p.

BHANDARI, K.; SIDDIQUE, K. M. H.; TURNER, N. C.; KAUR, J.; SINGH, S.; AGRAWAL, S. K.; NAYAR, H. Heat stress at reproductive stage disrupts leaf carbohydrate metabolism, impairs reproductive function, and severely reduces seed yield in Lentil. **Journal of Crop Improvement**, v. 30, n. 2, p. 118-151, 2016.

BECHOUX, N.; BERNIER, G.; LEJEUNE, P. Environmental effects on the early stages of tassel morphogenesis in maize (*Zea mays* L.). **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 23, p. 91-98, 2000.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS: Ascar, 2014. 84 p.

BILSKA, A.; SOWINSKI, P. Closure of plasmodesmata in maize (*Zea mays*) at low temperature: a new mechanism for inhibition of photosynthesis. **Annals of Botany**, London, v. 106, p. 675-686, 2010.

BITA, C. E.; GERATST. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-18, 2013.

BORGES, S. Z. **Onda de calor e ausência de chuva em abril causam preocupação em MS**. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/11481314/onda-de-calor-e-ausencia-de-chuva-em-abril-causam-preocupacao-em-ms>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

BORRÁS, L.; SLAFER, G. A.; OTEGUI, M. E. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and

soybean: quantitative reappraisal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 131-146, 2004.

CAIRNS, J. E.; CROSSA, J.; ZAIDI, P. H.; GRUDLOYMA, P.; SANCHEZ, C.; ARAUS, J. L.; MAKUMBI, D. A. N.; MAGOROKOSHO, C.; BÄNZIGER, M.; MENKIR, A.; HEARNE, S.; ATLIN, G. Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 1335-1346, 2013.

CANTELE, E. F. **Desempenho da cultura de milho em diferentes épocas de cultivo no sudoeste paulista**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

COLMER, T. D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Botany**, London, v. 91, p. 301-309, 2003a.

COLMER, T. D. Long-distance transport of gases in plants a perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 26, n. 1, p. 17-36, Jan. 2003b.

CHIMENTI, C. A.; MARCANTONIO, M.; HALL, A. J. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 305-315, 2006.

CICCHINO, M.; EDREIRA, J. I. R.; OTEGUI, M. E. Heat stress during late vegetative growth of maize: effects on phenology and assessment of optimum temperature. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 1431-1437, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo levantamento**, julho/2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

CRAFTS-BRANDNER, S. J.; SALVUCCI, M. E. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, Maize, to heat stress. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 129, p. 1773-1780, 2002.

CRUZ, R. F. D. **Indução e recuperação do estresse hídrico em variedades portuguesas de milho**. 2006. 163 f. Dissertação (Mestrado em Biologia do Stresse em Plantas) - Universidade do Minho, Braga, 2006.

CRUZ, J. C.; SILVA, G. H. da; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. Caracterização do cultivo de milho safrinha de alta produtividade em 2008 e 2009. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 177-188, 2010.

CUSTÓDIO, F. **Sem chuvas há mais de 20 dias, produtividade das lavouras de milho safrinha já está comprometida em São Gabriel do Oeste (MS)**. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

CUSTÓDIO, F.; ALBUQUERQUE, L. **Produção de milho já tem perda estimada de 20% em Goiás devido à falta de chuvas**

e das altas temperaturas. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; ALVES, J. D. Cálcio e o desenvolvimento de aerênquimas e atividade de celulase em plântulas de milho submetidas a hipoxia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 251-257, abr./jun. 2001.

DARKÓ, É.; FODOR, J.; DULAI, S.; AMBRUS, H.; SZENZENSTEIN, A.; KIRÁLY, Z.; BARNABÁS, B. Improved cold and drought tolerance of doubled haploid maize plants selected for resistance to prooxidant tert-butyl hydroperoxide. **Journal Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 6, p. 454-465, Dec. 2011.

DELL'AMICO, J.; TORRECILLAS, A.; RODRÍGUEZ, P.; MORALES, D.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Differences in the effects of flooding the soil early and late in the photoperiod on the water relations of grown tomato plants. **Plant Science**, Limerick, v. 160, n. 3, p. 481-487, Feb. 2001.

DOLATABADIAN, A.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; SHARIFI, M. Alleviation of water deficit stress effects by foliar application of ascorbic acid on *Zea mays* L. **Journal Agronomy and Crop Science**, Madison, v. 195, n. 5, p. 347-355, 2009.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 86, p. 83-145, 2005.

EDREIRA, J. I. R.; CARPICI, E. B.; SAMMARRO, D.; OTEGUI, M. E. Heat stress effects around flowering on kernel set of temperate

and tropical maize hybrids. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 123, p. 62-73, 2011.

EDREIRA, J. I. R.; OTEGUI, M. E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 130, p. 87-98, 2012.

ENSTONE, D. E.; PETERSON, C. A.; MA, F. Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 21, p. 335-351, 2003.

ENTRINGER, G. **Linhagem de milho com enrolamento permanente da folha**: características anatômicas e controle genético. 2011. 65 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ESIM, N.; ATICI, O. Nitric oxide improves chilling tolerance of maize by affecting apoplastic antioxidative enzymes in leaves. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 72, p. 29-38, 2014.

ESSEMINE, J.; AMMAR, S.; BOUZID, S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defense. **Journal Biology Science**, v. 10, p. 565-572, 2010.

FAROOQ, M.; AZIZ, T.; WAHID, A.; LEE, D.-J.; SIDDIQUE, K. H. M. Chilling tolerance in maize: agronomic and physiological approaches. **Crop & Pasture Science**, Victoria, v. 60, p. 501-516, 2009.

FENNELL, A.; MARKHART, A. H. Rapid acclimation of root hydraulic conductivity to low temperature. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 879-884, 1998.

FORTIN, M. C.; PIERCE, F. J. Timing and nature of much retardation of corn vegetative development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 258-263, 1991.

FRIES, D. D. **Efeito do cálcio em enzimas do sistema antioxidante em plântulas do milho (*Zea mays* L.) 'Saracura' - BRS-4154 submetidas à baixa disponibilidade de oxigênio.** 2006. 47 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, p. 909-930, 2010.

GOMIDE, R. L.; DURÃES, F. O. M.; KOBAYASHI, M. K.; MACHADO, R. A. F. Caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.) com sondas de fluxo de seiva. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 344-354, 2005.

GUÓTH, A.; TARI, I.; GALLÉ, A.; CSISZÁR, J.; PÉCSVÁRADI, A.; CSEUZ, L.; ERDEI, L. Comparison of the drought stress responses of tolerant and sensitive wheat cultivars during grain filling: changes in flag leaf photosynthetic activity, ABA levels, and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 28, p. 167-176, 2009.

GUY, C. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular**, Palo Alto, v. 41, p. 187-223, 1990.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; ALAM, M. M.; ROYCHOWDHURY, R.; FUJITA, M. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, p. 9643-9684, 2013.

HEINEMANN, A. B.; ANDRADE, C. de L. T. de; GOMIDE, R. L.; AMORIM, A. de O.; PAZ, R. L. da. Padrões de deficiência hídrica para a cultura de milho (safra normal e safrinha) no Estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1026-1033, jul./ago. 2009.

HU, X.; LIU, R.; WANG, W.; TAI, F.; XUE, R.; LI, C. Heat shock protein 70 regulates the abscisic acid-induced antioxidant response of maize to combined drought and heat stress. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 60, p. 225-235, 2010.

HUND, A.; RUTA, N.; LIEDGENS, M. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance. **Plant and Soil**, The Hague, v. 318, p. 311-325, 2009.

HUND, A.; RICHNER, W.; SOLDATI, A.; FRACHEBOUD, Y.; STAMP, P. Root morphology and photosynthetic performance of maize inbred lines at low temperature. **European Journal of Agronomy**, v. 27, p. 52-61, 2007.

JACKSON, M. B. Ethylene promoted elongation: an adaptation to submergence stress. **Annals of Botany**, London, v. 101, n. 2, p. 229-248, Jan. 2008.

JONES, H. G. **Plants and microclimate**. 2. ed. Cambridge, 1992. 411 p.

JONES, H. G.; SERRAJ, R.; LOVEYS, B. R.; XIONG, L.; WHEATON, A.; PRICE, A. H. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 36, p. 978-989, 2009.

KALDENHOFF, R. Aquaporins and plant water balance. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 31, p. 658-666, 2008.

KANIUGA, Z. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 10, p. 171-184, 2008.

KASPAR, T. C.; BLAND, W. L. Soil temperature and root growth. **Soil Science**, Baltimore, v. 154, p. 290-299, 1992.

KILLI, D.; BUSSOTTI, F.; RASCHI, A.; HAWORTH, M. Adaptation to high temperature mitigates the impact of water deficit during combined heat and drought stress in C3 sunflower and C4 maize varieties with contrasting drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 159, p. 130-147, 2017.

KUMAR, S.; GUPTA, D.; NAYYAR, H. Comparative response of maize and rice genotypes to heat stress: status of oxidative

stress and antioxidants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 75-86, 2012.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 529 p.

LEIPNER, J. **Chilling stress in maize**: from physiology to genetics and molecular mechanisms. 2009. 122 f. Thesis (Habilitation in Crop Science) - Department of Agricultural and Food Sciences, ETH Zurich, Zurich, 2009.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. New York: Academic Press, 1980. p. 365-488.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 66, p. 341-346, 2009.

LI, H.-Y.; LI, C.-G.; GONG, M. Short-term cold-shock at 1st induced chilling tolerance in maize seedlings. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOLOGY, ENVIRONMENT AND CHEMISTRY, 2010, Hong Kong. **Proceedings**. Singapura: IACSIT Press, 2010. v. 1, p. 346-349.

LI, Z.; XU, J.; GAO, Y.; WANG, C.; GUO, G.; LUO, Y.; HUANG, Y.; HU, W.; SHETEIWY, M. S.; GUAN, Y.; HU, J. The synergistic priming effect of exogenous salicylic acid and H₂O₂ on chilling tolerance enhancement during maize (*Zea mays* L.) seed germination. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1153, 2017.

LIU, F.; JENSEN, C. R.; ANDERSEN, M. N. A review of drought adaptation in crop plants: changes in vegetative and reproductive physiology induce by ABA-based chemical signals. **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, v. 56, p. 1245-1252, 2005.

LONG, S. P.; BERNACCHI, C. J. Gas exchange measurements, what they can tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 2393-2401, 2003.

LOPES, M. S.; ARAUS, J. L.; HEERDEN, P. D. R. van; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 3135-3153, 2011.

LUKATKIN, A. S.; BRAZAITYTÉ, A.; BOBINAS, C.; DUCHOVSKIS, P. Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. **Žemdirbyst=Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 111-124, 2012.

LYNCH, J. P. Roots of the green revolution. **Australian Journal of Botany**, Victory, v. 55, n. 5, p. 493-512, 2007.

MAGALHÃES, P. C.; DUARTE, A. P.; GUIMARÃES, P. E. de O. Tecnologias para desenvolvimento de milho em condições de safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados, MS. **Milho safrinha: rumo à estabilidade: anais**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 108-121. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES,

P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 3, p. 63-87.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; KARAM, D.; PARENTONI, S. N.; PEREIRA, F. J. Características de produção nos ciclos de seleção do milho Saracura BRS 4154 tolerante ao encharcamento do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. **Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras**. [Londrina]: IAPAR; [Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM.

MANFRON, P. A. **Análise quantitativa do crescimento do cultivar AG 401 (*Zea mays* L.) sob diferentes sistemas de preparo do solo e população de plantas**. 1985. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1985.

MAROCCO, A.; LORENZONI, C.; FRACHEBOUD, Y. Chilling stress in maize. **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 571-580, 2005.

MITTLER, R.; FINKA, A.; GOLOUBINOFF, P. How do plants feel the heat ? **Trends in Biochemical Sciences**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 118-125, 2012.

NAWAZ, M. A.; HUANG, Y.; BIE, Z.; AHMED, W.; REITER, R. J.; NIU, M.; HAMEED, S. Melatonin: current status and future perspectives in plant science. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1230, 2016.

NEIFF, N.; TRACHSEL, S.; VALENTINUZ, O. R.; BALBI, C. N.; ANDRADE, F. H. High temperatures around flowering in maize: effects on photosynthesis and grain yield in three genotypes. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 5, p. 2702-2712, 2016.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PARROTTA, L.; FALERI, C.; CRESTI, M.; CAI, G. Heat stress affects the cytoskeleton and the delivery of sucrose synthase in tobacco pollen tubes. **Planta**, Berlin, v. 243, n. 1, p. 43-63, 2016.

PEÑA-VALDIVIA, C. B.; SÁNCHEZ-URANETA, A. B.; TREJO, C.; AGUIRRE, R.; CÁRDENAS, E. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 33, n. 4, p. 705-712, 2005.

PETERS, J. S.; FRENKEL, C. Relationship between alcohol dehydrogenase activity and low-temperature in two maize genotypes, Silverado F1 and Adh1-Adh2- doubly null. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 42, p. 841-846, 2004.

PIRES, M. F.; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; SILVA NETA, I. C.; MONTEIRO, A. G. D. P. Etileno e peróxido de hidrogênio na formação de aerênquima em milho tolerante a alagamento intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 9, p. 779-787, set. 2015.

QU, A. L.; DING, Y. F.; JIANG, Q.; ZHU, C. Molecular mechanisms of the plant heat stress response. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v. 432, n. 2, p. 203-207, 2013.

SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P. S.; SRIVASTAVA, G. A. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 52, n. 3, p. 401-412, 2008.

SANTOS, M. A. **Excesso de chuva inviabiliza colheita de soja e plantio do milho safrinha em MT**. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/climatempo>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

SCHACHTMAN, D. P.; GOODGER, J. Q. D. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 13, n. 6, p. 281-287, 2008.

SCHULZE, E.-D.; BECK, E.; MULLER-HOHENSTEIN, K. **Plant ecology**. Berlin: Springer-Verlag, 2005. 702 p.

SHIOGA, P. S.; GERAGE, A. C. Influência da época de plantio no desempenho do milho safrinha no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 3, p. 236-253, 2010.

SICHER, R. C.; BARNABY, J. Y. Impact of carbon dioxide enrichment on the responses of maize leaf transcripts and metabolites to water stress. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, p. 238-253, 2012.

SILVA, P. F. M. **Quebra de produtividade da safrinha do milho em virtude da estiagem e das altas temperaturas.** Disponível em: <<https://3rlab.wordpress.com>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

SINSAWAT, V.; LEIPNER, J.; STAMP, P.; FACHEBOUD, Y. Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 52, n. 2, p. 123-129, 2004.

SOUZA, T. C. **Aplicação de ácido abscísico (ABA) e caracterização fisiológica e anatômica em dois híbridos de milho contrastantes ao estresse de seca.** 2012. 133 f. Tese (Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; PEREIRA, E. J.; PARENTONI, S. N.; MAGALHÃES, P. C. Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Soil and Environment**, v. 55, p. 504-510, 2009.

SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. de O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3201-3211, 2013a.

SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M. de; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; MARABESI, M. A. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize

hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 515-527, 2013b.

SOUZA, T. C. de; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; ALVES, E. T.; PEREIRA, F. J. Early characterization of maize plants in selection cycles under soil flooding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 131, p. 493-501, 2012.

SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M. de; DUARTE, V. P.; LAVINSKY, A. O. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 4, p. 330-339, abr. 2016.

SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; PARENTONI, S. N. Morpho-physiology and maize grain yield under periodic soil flooding in successive selection cycles. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1877-1885, 2011.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 1531-1542, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

THAKUR, P.; KUMAR, S.; MALIK, J. A.; BERGER, J. D.; NAYYAR, H. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 67, n. 3, p. 429-443, 2010.

TRACHSEL, S.; KAEPLER, S. M.; BROWN, K. M.; LYNCH, P. L. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. **Plant and Soil**, The Hague, v. 341, n. 1/2, p. 75-87, 2011.

TOURNAIRE-ROUX, C.; SUFKA, M.; JAVOT, H.; GOUT, E.; GERBEAU, P.; LUU, D. T.; BLIGNY, R.; MAUREL, C. Cytosolic pH regulates root water transport during anoxic stress through gating of aquaporins. **Nature**, London, v. 425, p. 393-397, 2003.

VERHEUL, M. J.; PICATTO, C.; STAMP, P. Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 5, n. 1/2, p. 31-43, 1996.

VOSS, I.; SUNIL, B.; SCHEIBE, R.; RAGHAVENDRA, A. S. Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 15, n. 4, p. 713-722, 2013.

XIMENES, A. C. A.; SOUZA, L. C. F. de; ROBAINA, A. D.; GONÇALVES, M. C. Avaliação da incidência de geadas em componentes de produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 2, p. 214-227, 2004.

XU, Z. Z.; ZHOU, G. S.; WANG, Y. L.; HAN, G. X.; LI, Y. J. Changes in chlorophyll fluorescence in maize plants with imposed rapid dehydration at different leaf ages. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2008.

WAQAS, M. A.; KHAN, I.; AKHTER, M. J.; NOOR, M. A.; ASHRAF, U. Exogenous application of plant growth regulators (PGRs)

induces chilling tolerance in short-duration hybrid maize.

Environmental Science Pollution Research, v. 24, n. 12, p. 11459-11471, 2017.

YAN, H.; WU, L.; FILARDO, F.; YANG, Z.; ZHAO, X.; FU, D.

Chemical and hydraulic signals regulate stomatal behavior and photosynthetic activity in maize during progressive drought.

Acta Physiologiae Plantarum, v. 39, p. 1-11, 2017.

ZAIDI, P. H.; RAFIQUE, S.; SINGH, N. N. Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess soil moisture stress: morpho-physiological effects and basis of tolerance. **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 383-399, July 2003.

ZHU, J.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 33, n. 5, p. 740-749, 2010.

Capítulo 3

Panorama dos Sistemas de Produção de Milho Safrinha na Região Centro-Sul do Brasil em 2017

Gessi Ceccon

Aildson Pereira Duarte

Emerson da Silva Nunes

Alfredo Lucas Becher Ribas

Introdução

Neste trabalho são apresentados os principais sistemas de cultivo de milho safrinha, em levantamentos realizados em 2017, com assistentes técnicos de cooperativas, órgãos oficiais e empresas de consultoria nos estados de São Paulo, Paraná e na região Centro-Sul de Mato Grosso do Sul (**Figura 1**).

O milho safrinha tem sido cultivado desde a década de 1980, predominantemente em sucessão à soja e em áreas de altitude inferior ou próxima a 500 m, com topografia plana e solos de média a alta fertilidade e textura argilosa. A produtividade média tem aumentado gradativamente, mas não de maneira contínua (**Figura 2**). Os estresses abióticos têm sido bastante severos em determinados anos, por causa da ocorrência de seca e/ou geadas, reduzindo drasticamente a produtividade regional. Em 2017, o milho safrinha foi cultivado em 2.409, 1.760 e 480 mil hectares, respectivamente, nos estados do Paraná (PR), Mato Grosso do Sul (MS) e de São Paulo (SP) (CONAB, 2017).

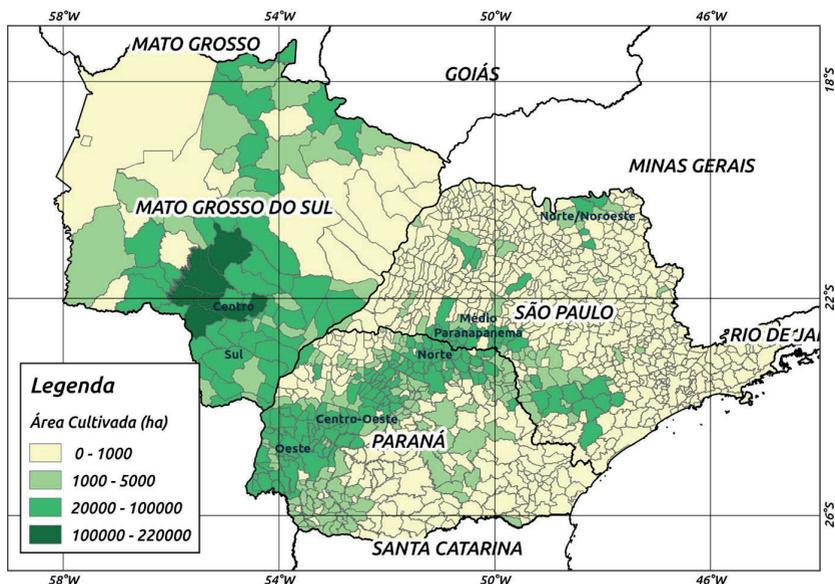


Figura 1. Área cultivada por município (ha) com milho safrinha na região Centro-Sul do Brasil, em 2017.

Fonte: IBGE (2016a, 2016b). Elaborado por Éder Comunello.

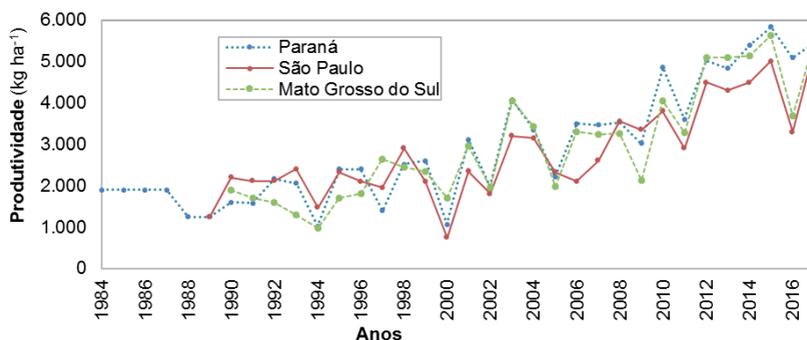


Figura 2. Produtividade média anual do milho safrinha nos estados do Paraná, de São Paulo e do Mato Grosso do Sul. **Fonte:** Conab (2017).

Caracterização das Regiões e da Sucessão de Culturas

No Paraná, o milho safrinha é cultivado em grande parte do estado, mas neste trabalho são destacadas as regiões Norte, Centro-Oeste e Oeste (**Figura 1**), por apresentarem maior expressão na produção de grãos, predominantemente nos solos argilosos.

O clima dessas regiões, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa e Cfb nas sub-regiões de maior altitude. O clima do tipo Cfa é caracterizado por verões quentes, invernos amenos, e Cfb caracteriza clima temperado com verões amenos e invernos frios, podendo ocorrer geadas durante o cultivo do milho safrinha. Ambos (Cfa e Cfb) apresentam chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

A altitude varia de 300 a 1.300 m na região Norte, de 300 a 900 m na região Centro-Oeste e de 200 a 900 m na região Oeste. A distribuição média anual de chuvas varia de 1.200 a 1.800 mm na região Norte e de 1.400 a 2.000 mm nas regiões Centro-Oeste e Oeste. A temperatura varia de 18 a 23 °C nas regiões Norte e Centro-Oeste e de 19 a 22 °C na região Oeste (Caviglione et al., 2000).

No Estado de São Paulo, o milho safrinha é cultivado na região do Médio Vale do Paranapanema (região de Assis) e na região Norte/Nordeste (região de Guaíra), divisa com Minas Gerais (**Figura 1**). A cultura expandiu-se para a região de Birigui e Araçatuba (Noroeste do estado), às margens do rio Tietê e, recentemente, para as terras de maior altitude no Vale do Paranapanema. Nesta última região, tradicional produtora

de milho verão, o agricultor está substituindo-o pela soja e deslocando o milho para a safrinha. Isso tem ocorrido em razão da boa lucratividade da soja e do recente aperfeiçoamento do seu sistema de produção, que permitiu antecipar a colheita da soja e, conseqüentemente, a semeadura do milho safrinha.

Em Mato Grosso do Sul, o milho safrinha é cultivado na região Central (Grande Dourados), região Sul, mais Sidrolândia e, recentemente, na região de Bonito (Mato Grosso do Sul, 2015), todos em altitudes abaixo de 500 m, em solos argilosos de alta fertilidade, e na região de Nova Andradina, região Leste, em solos de textura média (**Figura 1**). A cultura ocupou terras tradicionalmente cultivadas com trigo e está se expandindo para regiões de solos com textura média e de média fertilidade, onde se pratica a integração com pecuária visando a melhoria dos atributos físicos e químicos do solo.

As pequenas e médias propriedades, com cerca de 50 ha, predominam na região do Médio Paranapanema, em São Paulo, em grande parte do Paraná e nas proximidades de Dourados, em Mato Grosso do Sul. A diversidade de dimensões ocorre na região Norte/Noroeste e Alto Paranapanema, em São Paulo, parte do Paraná e em Mato Grosso do Sul (50 a 150 ha). O Mato Grosso do Sul possui muitas propriedades com área de até 10 mil hectares ou mais. Independentemente das dimensões das propriedades, existem proprietários e arrendatários cultivando a sucessão soja e milho safrinha nos três estados.

O principal fator de risco para as áreas de baixa altitude é a deficiência de água no solo, com ocorrência frequente em períodos distintos da cultura, enquanto que as baixas temperaturas são o principal risco para as regiões de maior

altitude, que se acentua em direção à região Sul, especialmente no Oeste do Paraná. Ao contrário dos chapadões do Brasil Central, a deficiência hídrica não ocorre necessariamente na fase reprodutiva; pode ocorrer deficiência hídrica na fase vegetativa e posterior atendimento da demanda hídrica. De maneira geral, existe risco moderado de geada no Norte do Paraná, no Sudoeste de São Paulo e no Centro-Sul do Mato Grosso do Sul, regiões próximas do paralelo 22 (**Figura 1**).

A produtividade média tem aumentado durante os 33 anos de cultivo, mas não de maneira contínua (**Figura 2**). Os estresses abióticos têm sido bastante severos em determinados anos, por causa da ocorrência de seca e/ou geadas, reduzindo drasticamente a produtividade regional em determinados anos.

O sistema de produção de milho safrinha é visto de maneira integrada com a soja e, por isso, têm sido feitos esforços contínuos para antecipar a semeadura da soja, tanto nos aspectos operacionais quanto no uso de variedades precoces adaptadas à semeadura de setembro/outubro. A sucessão soja e milho safrinha é permanente, exceto quando a soja é cultivada em áreas de renovação de canavial, como na região Norte/Noroeste de São Paulo, o milho no verão seguido de cereais de inverno na região paulista do Alto Paranapanema, Oeste e Centro-Oeste do Paraná, e a mandioca ocupando áreas da sucessão soja-milho safrinha na região de Naviraí, em Mato Grosso do Sul.

O milho safrinha é cultivado em 80 a 95% da área com a cultura da soja no verão nas regiões com predomínio de solos argilosos. Parte da área de soja em solos arenosos também é cultivada com milho safrinha, mas o Zoneamento Agrícola é

restritivo ao milho safrinha nestes ambientes, principalmente pela baixa capacidade de armazenamento de água no solo.

As lavouras de soja não cultivadas em sucessão com o milho safrinha são ocupadas com as mais diversas culturas, com predomínio de trigo e aveia nas regiões com ocorrência de geadas, e sorgo e milheto nas regiões mais secas no outono-inverno. Em pequenas proporções e regiões específicas, de feijão, nabo, crotalária, soja e pousio. A braquiária solteira é utilizada na maioria das regiões, mesmo que seja em pequenas áreas, principalmente em solos de textura média, tanto para cobertura de solo quanto para pastagem.

O milho safrinha é consorciado exclusivamente com *Brachiaria ruziziensis*, ocupando cerca de 3% em São Paulo, de 2 a 20% no Paraná e de 5 a 50% em Mato Grosso do Sul, com destaque neste último estado para os municípios de Maracaju, Sidrolândia e Rio Brilhante.

Tecnologia de Produção

Semeadura e Cultivares

O milho safrinha é implantado em semeadura direta, com exceções das lavouras em que se incorpora o calcário, geralmente, a cada quatro ou cinco anos, ou onde se realiza revolvimento do solo para romper camadas compactadas pela colheita da soja em solo úmido. O cultivo mínimo, com gradagem superficial, foi realizado na tentativa de controle de buva (*Conyza bonariensis*) e amargoso (*Digitaria insularis*), mas se mostrou uma prática ineficaz.

O lançamento e a utilização de cultivares de soja com crescimento indeterminado e ciclo mais precoce permitiu antecipar tanto a semeadura e a colheita da soja como a do milho safrinha. Com isso, a maioria do milho safrinha tem sido implantado dentro da época de maior potencial produtivo (**Figura 3**). Contudo, a irregularidade climática tem dificultado a antecipação da semeadura da soja no verão e, conseqüentemente, do milho safrinha, principalmente na região Norte/Noroeste de São Paulo e no Centro/Sul de Mato Grosso do Sul.

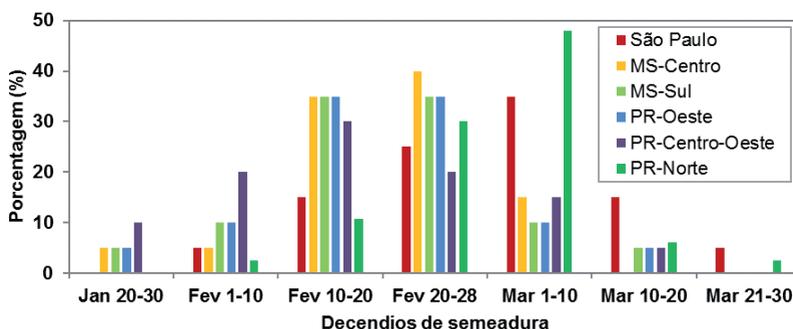


Figura 3. Porcentagem predominante de semeadura do milho safrinha em decêndios, na região Centro-Sul do Brasil, em 2017.

A época de semeadura do milho safrinha depende da colheita da soja, que varia de acordo com o ciclo das plantas e a época da sua implantação. A aplicação de paraquat, na dose de 1,2 a 2,0 L ha⁻¹, a fim de uniformizar e antecipar a colheita, é utilizada em parte das lavouras, com variações de 5 a 20%. A frequência dessa dessecação é muito variável dentro das próprias regiões e anos, com maior adoção quando há limitações ambientais para antecipar a semeadura da soja. Ocorre também a dessecação pontual por causa da haste verde e da elevada infestação de plantas daninhas na cultura da soja.

Quanto à utilização de classes de híbridos, predomina a de híbridos simples (média de 52%), incluindo os simples modificados, seguido pelos híbridos triplos (30%), duplos (15%) e outros (3%). Nas regiões tradicionais de cultivo de milho safrinha, o percentual de híbridos simples é maior, enquanto que em áreas novas e de solos com menor aptidão são utilizados híbridos triplos e duplos (**Figura 4**).

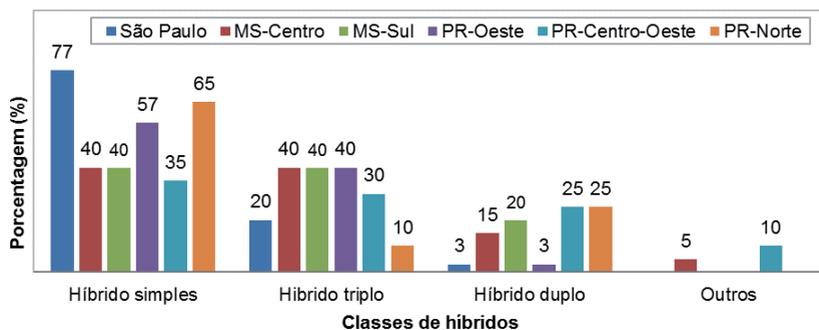


Figura 4. Porcentagem predominante de classes de híbridos utilizados nas regiões de cultivo de milho safrinha, em 2017.

As cultivares transgênicas Bt são utilizadas, dependendo da região, em 90 a 100% das lavouras, e as duas tecnologias, Bt+RR, em 7 a 90% das áreas, enquanto que as sementes convencionais são utilizadas em 3 a 10%. Dentre as tecnologias, predominam PRO e PW, seguidas pelas tecnologias Viptera e Leptra. Existe dificuldade em manejar a lagarta-do-cartucho no milho convencional porque o controle químico não é eficiente, por causa da seca que pode ocorrer nos estádios iniciais e da aplicação inadequada de defensivos.

Utilizam-se, na média, entre duas e quatro cultivares de milho em cada propriedade. A maior diferença no número de híbridos ocorre em função do tamanho da área: agricultores com áreas

pequenas utilizam, com frequência, dois híbridos, e os médios e grandes, três ou mais cultivares.

O custo das sementes e a adaptação produtiva são os principais fatores considerados na escolha das cultivares em todas as regiões, mas o ciclo, a sanidade e qualidade de grãos também são considerados. A precocidade é importante, principalmente nas regiões com ocorrência de geadas, como nas regiões de maior altitude no Estado do Paraná, e com deficiência hídrica nos estádios finais, por exemplo, na região Norte/Noroeste de São Paulo. Os técnicos/consultores e os produtores normalmente analisam estes fatores em conjunto com a época de semeadura e o nível de investimento da lavoura, que inclui o uso de fungicida para proteger contra doenças quando o material é suscetível. O item resistência às doenças é mais importante para os técnicos/consultores, mas, especificamente na região Norte/Noroeste do Estado de São Paulo, a resistência ao enfezamento tem sido considerada por todos.

A definição do híbrido a ser utilizado é feita com base nas informações das próprias empresas e cooperativas, tanto pelo vendedor quanto em apresentações em dias de campo. Destaca-se a troca de informações entre os próprios agricultores sobre o desempenho dos materiais nas lavouras. Especificamente na região do Médio Paranapanema, os resultados das avaliações realizadas pelo IAC/Apta são muito utilizados como referência por técnicos e agricultores.

Predomina população inicial de plantas em torno de 60 mil plantas por hectare, principalmente nas primeiras épocas de semeadura, reduzindo para 53 a 55 mil plantas ha⁻¹ nos períodos finais de semeadura. Nas regiões com maior restrição

de umidade predomina população um pouco menor, na faixa de 50 a 55 mil plantas ha^{-1} . O espaçamento reduzido (45-50 cm) predomina na maioria das regiões. Contudo, na região Centro-Oeste do Paraná, onde predomina o espaçamento de 90 cm entre linhas há uma tendência de redução de espaçamento (**Figura 5**). O espaçamento 45-50 cm facilita as operações de semeadura na propriedade, por ser utilizado tanto para soja quanto para o milho safrinha, e proporciona melhor distribuição das plantas e fechamento mais rápido da área pelas folhas. O espaçamento 90 cm é utilizado porque permite o uso da mesma semeadora da soja com 45 cm entre linhas, sem necessidade de mudança no espaçamento entre as linhas, apenas retirando uma linha intercalar.

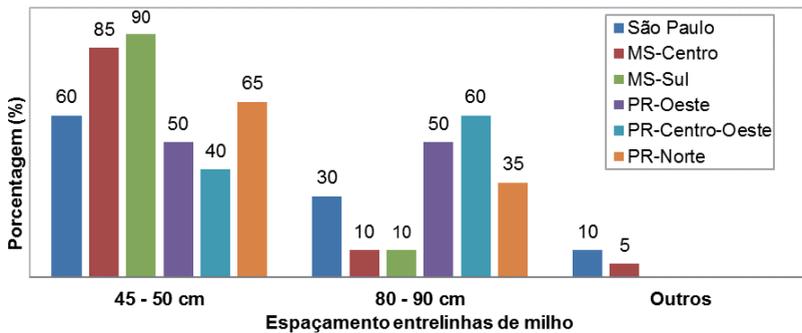


Figura 5. Porcentagem predominante de espaçamento entre as linhas de milho safrinha na região Centro-Sul do Brasil, em 2017.

A qualidade geral da semeadura/implantação da cultura é relativamente boa, mas ainda existem lavouras com distribuição irregular de plantas na linha, inclusive plantas duplas. O principal fator que afeta a qualidade é a velocidade excessiva de plantio, somada à umidade elevada do solo e

aos problemas operacionais do mecanismo de distribuição de sementes. Destacam-se o uso de discos inadequados e a falta de uniformidade no formato das sementes. Poucos agricultores utilizam semeadoras com mecanismo pneumático.

Adubação

A adubação de semeadura é aplicada exclusivamente no sulco de semeadura, com predomínio das fórmulas NPK 10-15-15, 12-15-15, 16-16-16 e 11-18-14. As doses variam de 200 a 250 kg ha⁻¹ nas semeaduras do cedo e/ou em solos de maior fertilidade. Nas semeaduras tardias e em solos de menor fertilidade, a dose é reduzida, mas com as mesmas fórmulas.

Nos primeiros plantios da região do Vale do Paranapanema, em SP, e Naviraí, MS, são utilizadas as fórmulas 8-20-20 e 8-28-16, normalmente as mesmas do milho verão.

Na região Norte/Noroeste de SP são utilizadas fórmulas NPK tradicionais, como 8-28-18 ou 8-30-10 (200 kg ha⁻¹), principalmente próximo de Araçatuba, em 75% das lavouras, e também fórmulas concentradas em N (10-20-10, 13-13-13 e 16-16-16), especialmente na região de Guaíra, com dose de 150 kg ha⁻¹.

O uso de matérias primas isoladas representa muito pouco do mercado, com tendência de aumento de fórmulas NP (por exemplo, 200 kg ha⁻¹ de 13-33-00), complementada com potássio a lanço, em operação separada da adubação de cobertura nitrogenada.

A adubação de cobertura é realizada quase sempre com ureia, nos estádios de V2 a V6. A maior preocupação em antecipar a adubação de cobertura deve-se à utilização de menores doses NPK na semeadura e ao aproveitamento máximo das chuvas no início do ciclo do milho. Os demais utilizam 26-00-00+S, 27-00-00, 20-00-20 e sulfato de amônio. Nas regiões tradicionais e semeaduras do cedo, o milho recebe adubação de cobertura, enquanto nas demais depende da ocorrência de boas condições ambientais para o desenvolvimento do milho, incluindo as lavouras adubadas na semeadura com fórmulas concentradas em nitrogênio.

Em São Paulo, no Médio Paranapanema, a dose varia de 80 a 124 kg ha⁻¹ de N, da seguinte maneira: lavouras de alta tecnologia/época do cedo = em 100% das lavouras com 100 kg ha⁻¹ de N; média tecnologia = em 1/3 das lavouras com 60 a 100 kg ha⁻¹; média tecnologia tardia = total das lavouras sem cobertura. No Norte/Noroeste, o índice de cobertura é menor, cerca de 50 a 60% das lavouras, com doses de 40 a 70 kg ha⁻¹ de N, utilizando principalmente ureia e, em algumas áreas, cerca de 200 kg ha⁻¹ de 20-00-20.

Em Mato Grosso do Sul, a adubação em cobertura é realizada apenas em 10 a 20% das lavouras, normalmente nas lavouras semeadas em final de janeiro e início de fevereiro, que apresentam maior potencial produtivo e menores riscos de perdas, seja por seca ou por geadas.

No Paraná, a adubação nitrogenada de cobertura é realizada predominantemente nas lavouras de semeaduras do cedo e de maior potencial produtivo, destacando-se a região Oeste do Paraná e a região Norte, divisa com São Paulo. Isso também

é verificado na região Noroeste, em solos de alta fertilidade e textura intermediária onde o agricultor investe em adubação para elevar o potencial produtivo.

Os micronutrientes são utilizados com maior frequência em lavouras com bom desenvolvimento, mesmo assim em apenas 10 a 20% destas, com cobalto e molibdênio, no tratamento de sementes, e/ou zinco e molibdênio via foliar.

A inoculação com *Azospirillum* varia, em média, de 0 a 30%. A maior utilização está na região Oeste e parte de região Norte do Paraná, em aplicação foliar. Como a pulverização no sulco é muito pouco utilizada durante a semeadura, o emprego do *Azospirillum* tem sido feito principalmente via inoculação da semente, que é trabalhosa, e aplicação foliar.

Controle de Plantas Daninhas

A ocorrência de espécies de plantas daninhas varia de acordo com a região. Contudo, *Conyza bonariensis* (buva), *Digitaria insularis* (amargoso), *Commelina benghalensis* (trapoeraba), e soja tiguera são encontradas em todas as regiões de milho safrinha do Centro-Sul brasileiro.

Em São Paulo, na região Norte/Noroeste, acrescentam-se o fedegoso, apaga-fogo e caruru. No Médio Paranapanema tem-se ainda o capim-arroz e a poaia, requerendo doses elevadas de glifosato para o controle do capim-arroz e a associação obrigatória com atrazine para poaia. Em Mato Grosso do Sul, acrescentam-se o capim-colchão, capim-carrapicho e picão-preto. No Paraná, o capim-colchão, corda-de-viola e sorgo-vassoura.

O amargoso, a buva “perenizada” e, em algumas regiões, o picão-preto são as principais espécies de difícil controle com herbicidas na cultura do milho safrinha.

O controle é feito exclusivamente com herbicidas. Contudo, em Mato Grosso do Sul e Paraná, também é utilizado o controle mecânico com enxadas para retirar o amargoso. O herbicida atrazine é utilizado em todas as lavouras por controlar eficientemente a soja resteva, que deve ser eliminada para atender as normas do vazio sanitário, e ainda controla a maioria das folhas largas. É aplicada, na maioria das vezes, na dose de 2,5 L ha⁻¹, sempre em associação com glifosato ou nicossulfuron (Accent), tebotrione (Soberan) ou mesotrione (Callisto). Esses dois últimos são pouco utilizados em razão do seu maior custo por área.

O glifosato é aplicado continuamente na soja e no milho safrinha RR em 40% a 60% das lavouras de São Paulo, de 7 a 30% em Mato Grosso do Sul e de 50 a 80% no Paraná. O menor uso dessa tecnologia em MS deve-se ao uso da braquiária em consórcio com o milho safrinha.

Ocorrência e Controle de Pragas

O percevejo-barriga-verde (*Dichelops melacanthus* e *furcatus*) e a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) são os insetos-pragas de ocorrência em todas as regiões de milho safrinha. Em menor ocorrência, aparecem a vaquinha e o pulgão. Há pouquíssimos relatos de prejuízos em razão do enfezamento causado pela cigarrinha, exceto na região Norte/Noroeste de São Paulo.

O principal método de controle das pragas é o químico e, para a lagarta-do-cartucho, também o uso de cultivares resistentes. O Manejo Integrado de Pragas não é adotado por causa, principalmente, da falta de profissionais treinados na área e da falta de percepção dos benefícios dessa tecnologia pelos agricultores.

O controle químico é o único método de manejo dos percevejos, por meio do tratamento de sementes com neonicotinoides, e pulverizações sequenciais (duas a quatro). De maneira generalizada, adiciona-se pelo menos um inseticida na aplicação do herbicida. No caso das cigarrinhas, é utilizado o tratamento de sementes com neonicotinoides, pulverizações com produtos específicos para o seu controle e cultivares resistentes aos patógenos transmitidos. Na região Norte/Noroeste de São Paulo é feita, pelo menos, uma aplicação de inseticida para o controle da cigarrinha.

O tratamento de sementes tem adoção total, variando muito o tipo de tratamento (industrial ou no barracão) e o ingrediente ativo, mas com amplo uso de neonicotinoides.

As tecnologias Bt disponíveis podem ser classificadas de acordo com a eficiência no controle da lagarta-do-cartucho:

- Eficiente: Leptra e Viptera, sem aplicação de inseticida.
- Intermediária: PW, VTPRO, necessitam de duas aplicações de inseticidas, em média.
- Ineficiente: YG, HX e Intrasect. Assim como os convencionais, são necessárias cerca de três a quatro aplicações.

Entre os inseticidas, para lagarta-do-cartucho são utilizados: metomil (Lannate), clorantraniliprole (Premio), lambda-cialotrina e clorantraniliprole (Ampligo), flubendiamida (Belt), e tiodicarbe (Larvin). Para percevejo, é comum o uso de imidacloprido (Conect), tiametoxam e lambda-cialotrina (Engeo Pleno), imidacloprido e bifentrina (Galil), nas doses recomendadas pelos fabricantes. Em São Paulo, uma pequena proporção de produtores (menos de 5%) utiliza o enxofre para desalojar lagarta-do-cartucho do milho.

Um dos pontos críticos para o manejo da lagarta-do-cartucho é o momento da aplicação, antes que a lagarta esteja com tamanho grande, máximo com 0,5 cm. O controle biológico é pouquíssimo utilizado.

Controle de Doenças

Dentre as doenças que atacam o milho safrinha destacam-se a mancha-branca (*Phaeosphaeria*), mancha-de-cercospora (*Cercospora zea-maydis*) e ferrugem (*Puccinia polysora*), que ocorreram em todas as regiões. Em São Paulo, destaca-se ainda a queima-de-turcicum (*Exserohilum turcicum*) e, no Médio Paranapanema, a mancha-de-bipolaris (*Bipolaris maydis*).

As doenças de colmos e espigas (*Fusarium* spp., *Macrophomina* spp. e *Pythium* sp.) ocorrem com baixa frequência e em locais específicos, geralmente com maior umidade no solo, sendo consideradas um problema pontual, em poucos híbridos.

O uso de cultivares resistentes e a aplicação de fungicidas são os principais métodos de manejo das doenças.

Quem mais demanda informações sobre cultivares resistentes às doenças de importância regional são os técnicos/consultores. A principal fonte de informação são as próprias empresas de sementes e, especificamente no Médio Paranapanema, os resultados da Avaliação Regional de Cultivares IAC/APTA/CATI/ Empresas.

Cerca de 90% dos produtores fazem, pelo menos, uma aplicação de fungicida. Se for necessária a segunda aplicação, a maioria dos agricultores prefere trocar o híbrido. Em situações específicas na alta tecnologia, o agricultor escolhe híbrido medianamente suscetível, ciente da necessidade de duas aplicações de fungicida.

A aplicação dos fungicidas é feita na última entrada do trator e/ou no pré-pendoamento, preferindo-se a última quando há disponibilidade de pulverizador autopropelido ou avião, o que varia muito dentro da própria região.

São utilizadas, principalmente, as misturas de triazol e estrobilurina. Nas regiões do Alto Paranapanema e Norte do Paraná, onde a mancha-branca é endêmica, é comum adicionar também mancozeb.

Colheita

A colheita do milho safrinha inicia-se em junho e se estende até setembro. As primeiras colheitas são registradas no Oeste do PR, no Sul de MS e na região Norte/Noroeste de SP. Em julho, ocorre o pico de colheita no Vale do Rio Paranapanema (Norte do Paraná e Sudoeste de São Paulo) e se estende até o início de setembro.

A maioria das lavouras é colhida com umidade dos grãos na faixa de 20% a 25% no Vale do Rio Paranapanema (PR e SP) e na região Sul de MS. Nas regiões Norte/Noroeste de SP, Centro de MS, Oeste e Centro-Oeste do Paraná, o milho é colhido com 18% a 22% de umidade. De maneira geral, os problemas de qualidade de grãos são pontuais, em razão da predominância de período seco durante a colheita. Podem ocorrer maiores problemas em anos com ocorrência de geadas, com parte das lavouras apresentando grãos chochos e/ou ardidados em proporção muito variável.

Comercialização

A época da comercialização depende muito do ano, pois o valor do milho é muito variável no momento da colheita. Os dois últimos anos foram muito diferentes, com rápida comercialização em 2016 e muito lenta em 2017.

Em 2017, de maneira geral, foram três modalidades de comercialização de milho safrinha, sendo: 20% entregue para cumprimento de contrato de custeio, 30% vendido imediatamente após a colheita e 50% do milho armazenado em cooperativas ou empresas do setor, fora da propriedade, na expectativa de aumento dos preços.

A liquidez do milho safrinha é muito boa. É fácil vender dentro dos preços praticados, que nem sempre asseguram lucro. Em São Paulo, a produção do milho safrinha está próxima dos locais de consumo, principalmente de granjas avícolas nas regiões de Bastos e Campinas. Paraná tem situação intermediária porque tem grande consumo em granjas de suínos e aves e está próximo dos pontos de embarque para

exportação. Mato Grosso do Sul tem pouco consumo interno e a maior distância dos pontos de entrega para exportação, resultando em menor preço de venda e menor lucratividade.

Há disponibilidade de silos para armazenar a safra até o momento da venda, mas a capacidade está no limite, utilizando inclusive, silos temporários, tipo bolsa. Existe preocupação com o aumento do armazenamento conjunto de milho e soja de uma safra para outra.

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 lucro ao agricultor.

Nos últimos cinco anos, o custo médio da produção por área subiu cerca de 10% ao ano. A cultura continua lucrativa porque a produtividade também aumentou. A continuidade dos incrementos se constitui no maior desafio para o futuro.

As previsões do nível de investimentos para o próximo ano dependem da expectativa dos preços de venda e, antes disso, da ocorrência de boas condições climáticas para a semeadura da soja e, conseqüentemente, do milho safrinha.

A grande variabilidade do preço do milho dificulta o planejamento de investimentos na lavoura e a previsão de lucro, que é muito dependente do preço de venda.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos engenheiros agrônomos:

- Denis Cimonetti, Cooperativa Agropecuária de Pedrinhas Paulista, SP;
- Jorge Luiz Hipólito, CATI/EDR de Araçatuba, SP;
- Marcio de Souza Pecchio, Cooperativa Agroindustrial, SP;
- Márcio Issamu Yoshida, da Cooperativa Copasul, em Naviraí, MS;
- Marcio Luiz Cichelero, Gênese Consultoria, Maracaju, MS;
- Renan Miranda Viero, da Cooperativa Copasul, em Naviraí, MS;
- Renato Massaro Sobrinho, Sindicato Rural de Guaira, SP;
- Wanessa de Oliveira Queiroz, Detec Assessoria Técnica Ltda, SP.

Agradecem também às seguintes instituições e pessoas:

- Ao Departamento Técnico da Cocamar Cooperativa Agroindustrial, em especial aos engenheiros agrônomos das unidades de Maringá, Iporã, São Jorge do Ivaí, Sertaneja, Sertanópolis, Rolândia e Tuneiras do Oeste, pelo fornecimento da maioria das informações compiladas nesta publicação.
- Alfredo Tsunechiro, pesquisador científico aposentado do Instituto de Economia Agrícola (IEA/APTA), SP.
- Marciana Retore, pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste.
- Eli de Lourdes Vasconcelos, bibliotecária da Embrapa Agropecuária Oeste, pelas revisões do manuscrito.

Referências

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 1 CD-ROM.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 27 set. 2017.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Produção agrícola municipal**. [Rio de Janeiro, 2016a]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>> . Acesso em: 12 set. 2017.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Produção agrícola municipal**: tabela 839 – área planta, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de **milho**, 1ª e 2ª safras. [Rio de Janeiro, 2016b]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>>. Acesso em: 12 set. 2017.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Estudo da dimensão territorial do Estado de Mato Grosso do Sul**: regiões de planejamento. Campo Grande, MS, 2015. 90 p.

Capítulo 4

Manejo das Condições Físicas do Solo em Sistemas de Produção Intensificados

Anderson Cristian Bergamin

Introdução

A demanda crescente por alimentos, bioenergia e produtos florestais tem levado os produtores rurais a utilizarem máquinas cada vez maiores e mais pesadas, além disso, também existe a necessidade de redução de desmatamento e emissão de gases de efeito estufa, tornando-se fundamental a busca de novas alternativas de manejo para o desenvolvimento sustentável no campo.

Nesse sentido, a alternativa mais apropriada é o uso de sistemas de produção que ocupem intensamente os recursos disponíveis nos agrossistemas, concomitante à melhoria da qualidade física do solo e gerando maior renda por área. A intensificação do uso do solo em áreas com agricultura e pecuária e o aumento da eficiência dos sistemas de produção podem contribuir para harmonizar esses interesses.

É nesse cenário que a estratégia de integração lavoura com a pecuária tem sido apontada como alternativa para o manejo

intensivo dos solos, que consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, agroenergia, entre outros, na mesma área, em plantio consorciado, sequencial ou rotacional (Macedo, 2009). Esse modelo de exploração pode melhorar os atributos físicos do solo pelo sinergismo entre pastagens e culturas anuais.

Com a intensificação da produção agropecuária, faz-se necessário o entendimento das formas de manejo dos solos e como estas interferem na longevidade deste recurso natural. O manejo dos solos compreende um conjunto de práticas que, quando usadas racionalmente, promovem melhor produtividade das culturas, porém, quando usadas de forma incorreta, causam a degradação física, química e biológica do solo e, ainda, redução da produtividade das culturas. O manejo do solo por meio do sistema de preparo convencional é basicamente caracterizado pela realização de uma aração e duas gradagens, com o objetivo de preparar o solo para a semeadura e o desenvolvimento das plantas, possuindo também a função de controlar plantas daninhas e incorporar matéria orgânica ao solo. Mas este manejo proporciona ao longo do tempo alterações negativas nos atributos físicos do solo, induzindo a um processo acelerado de degradação dos solos tropicais.

Por outro lado, com a expansão de sistemas de manejo do solo mais conservacionistas, como o sistema plantio direto, se adotado corretamente, tem-se verificado a possibilidade de obter um sistema mais estável e mais bem estruturado, mitigando o processo de degradação destes solos e aumentando a produtividade das culturas. O manejo do solo por meio do sistema plantio direto é caracterizado pela

manutenção dos resíduos (palha) das espécies antecessoras na superfície, pela semeadura das culturas mediante mobilização de solo apenas na linha de cultivo, e pela diversificação de espécies cultivadas, por meio da rotação de culturas, sendo o sistema mais utilizado pelos produtores de grãos do Brasil.

Vale salientar que a utilização do sistema de plantio direto continuamente até os primeiros quatro a cinco anos de manejo do solo pode proporcionar efeitos negativos sobre os atributos físicos do solo, em razão do arranjo natural das partículas sólidas e da pressão exercida pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, além do pisoteio por animais, aumentando a compactação no solo, principalmente na camada mais superficial. Essa compactação tem feito com que alguns produtores rurais utilizem algumas práticas mecânicas de revolvimento do solo, como o uso de escarificadores, subsoladores e/ou grades, no intuito de realizar a descompactação. No entanto, não se tem observado efeito duradouro destas práticas mecânicas, visto que a grande maioria dos Latossolos e Argissolos que ocupam a região tropical do Brasil têm apresentado elevada capacidade de resiliência, fazendo com que se reorganizem novamente em uma estrutura mais compacta em um período bastante curto de tempo.

Dessa forma, surgem indagações acerca de quais medidas devem ser adotadas para alcançar a desejável qualidade física do solo, dentro de sistemas de produção intensificados, promovendo, além da recuperação da estrutura de solo degradada, a redução dos problemas ocasionados pela compactação. Uma das medidas pode ser a utilização da rotação de culturas que possuam sistemas radiculares

diferentes, afim de que as raízes dessas espécies possam atuar melhorando a estrutura do solo, agindo principalmente por meio da descompactação biológica (Silveira Júnior et al., 2012). Além disso, essas culturas podem ser responsáveis pelo incremento nos teores de matéria orgânica do solo, tanto em razão das suas raízes quanto da parte aérea em decomposição sobre o solo, recuperando e/ou melhorando a qualidade física do solo.

Nesse contexto, a avaliação dos atributos físicos do solo deve ser colocada em foco, pois é um componente fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção. Pesquisas com essa abordagem são necessárias, a fim de adotar medidas para evitar a compactação e/ou realizar a descompactação do solo (Silva et al., 2006). Para tanto, é preciso o entendimento dos processos envolvidos nos sistemas intensivos de produção, sendo necessário identificar as características de cada unidade de produção e como elas determinam o rendimento das culturas, analisando de forma integrada principalmente as variáveis ligadas à dinâmica da água, compactação do solo e ao sistema radicular das culturas em sistemas intensivos de produção de grãos e/ou carne bovina.

Atributos Físicos do Solo em Sistemas Intensivos de Produção

O conhecimento dos atributos físicos de um solo é importante para manejá-lo corretamente e usá-lo com eficiência. Uma exploração agropecuária sustentável requer, entre outros fatores, a melhoria da qualidade física do solo, porém, a intensificação do uso de máquinas agrícolas cada vez maiores e mais pesadas nas várias etapas do processo de produção,

em condições inadequadas de umidade, e o pisoteio animal em áreas de pecuária e/ou Integração Lavoura-Pecuária podem ser os principais responsáveis pela degradação da estrutura do solo, levando à compactação e diminuindo o potencial produtivo das culturas.

A compactação tem sido indicada como a principal causa da degradação física dos solos. O tráfego intenso de máquinas reduz a qualidade física do solo, que se acentua com a intensidade de passadas da máquina (Bergamin et al., 2010). Além disso, o pisoteio exercido pelos animais em sistema contínuo, com umidade inadequada do solo durante o período de pastejo e com oferta reduzida de massa de forragem, aumenta a densidade (Ds), e, na maioria das vezes, atua negativamente sobre o desenvolvimento das plantas, diminuindo o crescimento das raízes, reduzindo a absorção de água e nutrientes, comprometendo a produtividade, principalmente quando ocorre precipitação pluvial de forma irregular no período de cultivo.

Em consequência da compactação, há alteração estrutural do solo por causa da reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a Ds e a resistência do solo à penetração (RP), reduzindo a macroporosidade e porosidade total (Pt) (Tabela 1), influenciando a dinâmica da água no solo e o crescimento radicular das plantas.

A RP, Ds, Pt e macroporosidade têm sido comumente utilizadas como indicadores da qualidade do solo para comparar diferentes sistemas de manejo (Marchão et al., 2007); sendo essa qualidade entendida como a capacidade do solo de manter uma produção de forma harmoniosa com o ambiente nativo.

Tabela 1. Estimativas das correlações de Pearson entre atributos físicos do solo na camada de 0,0-0,20 m de um Latossolo Vermelho Distroférico de textura muito argilosa (n=100). Dourados-MS (2009).

| | Macro | Micro | Pt | RP | U ₀ | Ds | DMG | DMP |
|----------------|---------|---------|---------|--------|----------------|--------|--------|-----|
| Macro | - | | | | | | | |
| Micro | -0,78** | - | | | | | | |
| Pt | 0,84** | -0,32** | - | | | | | |
| RP | -0,81** | 0,44** | -0,84** | - | | | | |
| U ₀ | -0,81** | 0,88** | -0,46** | 0,54** | - | | | |
| Ds | -0,82** | 0,70** | -0,63** | 0,71** | 0,76** | - | | |
| DMG | -0,85** | 0,60** | -0,77** | 0,77** | 0,70** | 0,70** | - | |
| DMP | -0,62** | 0,40** | -0,59** | 0,65** | 0,45** | 0,50** | 0,78** | - |

**significativo pelo teste t a 1%. Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade; PT: porosidade total; RP: resistência do solo à penetração na capacidade de campo (-0,01 MPa); U₀: umidade volumétrica na capacidade de campo (-0,01 MPa); Ds: densidade do solo; DMG: diâmetro médio geométrico; e DMP: diâmetro médio ponderado. Fonte: Bergamin et al. (2015).

Como consequência, cresce o interesse em avaliar a qualidade física do solo dentro de sistemas intensivos de produção, como o sistema plantio direto e/ou a Integração Lavoura-Pecuária, quando submetidos a diferentes estados de compactação, ocasionados pelo tráfego de máquinas agrícolas e/ou pisoteio de animais. A identificação de indicadores físicos sensíveis a esses impactos fornece informações importantes sobre o que ocorre com as relações físico-hídricas do solo, facilitando a compreensão da suscetibilidade do solo à compactação.

Uma forma de representar a qualidade física do solo pode ser dada por meio de modelo gráfico comparativo, como se pode observar na **Figura 1**. Nesta figura estão os dados de

um Latossolo Vermelho distroférico cultivado em sistema plantio direto por oito anos e submetido a compactação induzida por meio de passadas de trator. Este modelo gráfico compara a RP, Ds, Pt e macroporosidade com as alterações relativas de cada um destes atributos em relação ao plantio direto sem compactação adicional (PD). As maiores alterações (desvios) nos atributos físicos do solo no sistema plantio direto ocorreram quando foram realizadas quatro e seis passadas do trator (**Figura 1**). Há tendência de redução desses desvios com o aumento da profundidade, sendo observadas as maiores alterações na camada de 0,0-0,10 m de profundidade (**Figuras 1a e 1b**). Isso se deve ao fato do sistema plantio direto já ter sofrido durante oito anos o acúmulo de pressões na superfície do solo, promovendo uma condição estrutural que apresenta maior capacidade de suporte de carga (pressão de preconsolidação), não atingindo as camadas mais profundas.

De maneira geral, o tráfego de máquinas em sistema plantio direto provoca aumento expressivo da compactação somente na camada de 0,0-0,15 m de profundidade, não havendo significativa transferência da capacidade de compactação para camadas mais profundas.

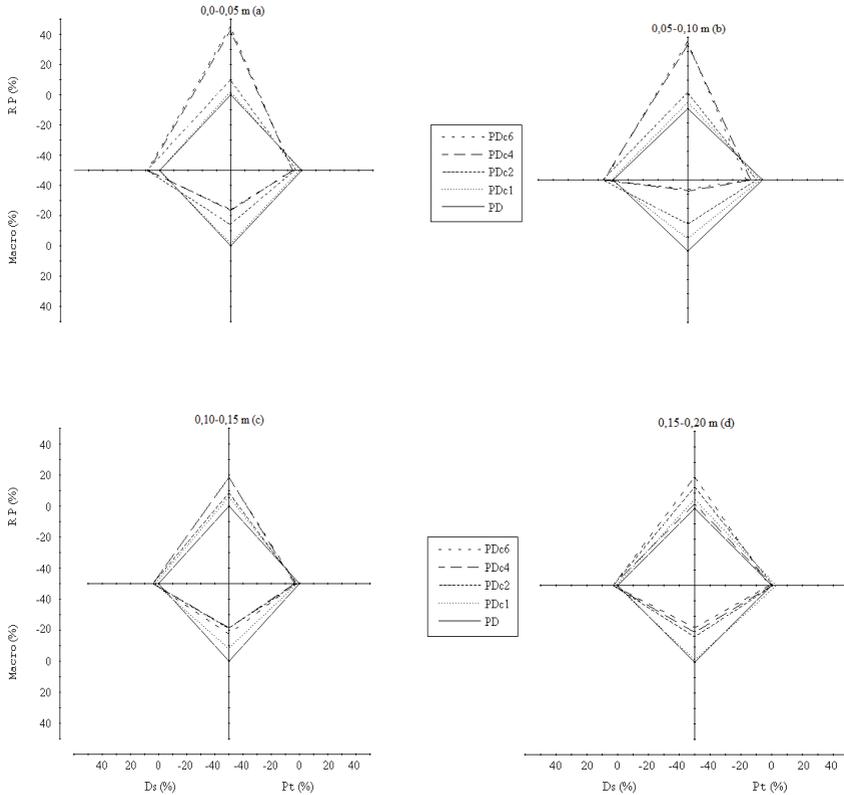


Figura 1. Modelo gráfico comparativo da qualidade física do solo em sistema plantio direto com compactação adicional, relativo ao sistema plantio direto (PD) que reflete a condição atual do solo sem compactação adicional, nas profundidades 0,0-0,5 m (a); 0,05-0,10 m (b); 0,10-0,15 m (c); e 0,15-0,20 m (d), considerando os valores relativos dos atributos resistência do solo à penetração (RP), macroporosidade (Macro), densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt). PDC1, PDC2, PDC4 e PDC6 – correspondem a plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em uma, duas, quatro e seis passadas, respectivamente. Fonte: Bergamin et al. (2015).

RP, Ds e macroporosidade têm sido os atributos que melhor representaram as alterações físicas ocorridas no sistema plantio direto com o aumento nos estados de compactação do solo. Analisando os dados da **Figura 1**, observa-se que a RP foi o atributo que apresentou maiores deformações até a profundidade de 0,0-0,15 m. Em relação ao plantio direto sem compactação adicional, os aumentos da RP com a carga de seis passadas do trator foram de aproximadamente 49%, 48% e 20%, nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m de profundidade, respectivamente, enquanto para a macroporosidade se observaram reduções de aproximadamente 26%, 44% e 19% (**Figuras 1a, 1b e 1c**). Vale salientar que Marchão et al. (2007) também relataram que a RP e a macroporosidade são os atributos físicos de solo mais sensíveis às alterações decorrentes dos sistemas de manejo.

Nos últimos anos tem se buscado determinar valores críticos para a RP, em que produtores rurais e/ou técnicos (consultores) pudessem aplicar estas informações diretamente no campo. Vale salientar que na literatura se encontram diversos trabalhos que determinam este valor crítico, mas os dados normalmente apresentam-se de maneira distinta para os diferentes tipos de solos, teor de água, manejo utilizado, entre outros. Como exemplos podemos citar que se tem utilizado o valor de 2,0 MPa como limite crítico de RP (Taylor et al., 1966), mas para FOLONI et al. (2003) e BERGAMIN et al. (2010) este valor é questionável, sendo necessários mais estudos. O que se pode descrever de forma precisa é que, em solos manejados em sistema de plantio direto, toleram-se valores mais altos de RP, comparados aos valores em sistema de plantio convencional. FOLONI et al. (2003) observaram que o crescimento radicular do milho em Latossolo Vermelho distroférrico de textura média

foi prejudicado em 50% quando a RP foi igual a 0,75 MPa e foi totalmente inibido quando esta chegou a 1,4 MPa.

O crescimento radicular da cultura do milho é influenciado principalmente pela RP e macroporosidade. Bergamin et al. (2010) verificaram correlações negativas do comprimento radicular do milho com Ds ($r = -0,62$) e RP ($r = -0,59$); e positiva com a macroporosidade ($r = 0,72$) (**Figura 2**). Também apuraram que, mesmo com valores de RP abaixo de 1,10 MPa, o sistema radicular do milho sofre expressivas reduções em seu comprimento. Isto pode estar relacionado ao conteúdo de água (capacidade de campo) em que se foi medido a RP, pois no campo há intensas variações no conteúdo de água do solo, podendo este ser reduzido, fazendo com que rapidamente a RP passe de uma condição não limitante para limitante, influenciando negativamente o crescimento das raízes. Para Rosolem et al. (1999), o crescimento das raízes primárias de milho é reduzido pela metade quando a RP atinge 0,33 MPa.

Com diminuição do espaço poroso do solo, principalmente de macroporos, decorrente da compactação, há menos oxigênio disponível às raízes. A redução dos macroporos interfere na capacidade de armazenamento e disponibilidade de água no solo. Em trabalho realizado induzindo a compactação em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso por meio de diferentes passadas de trator agrícola de 5 Mg (massa total) e cultivando milho, Bergamin et al. (2010) observaram que na camada de 0,0-0,05 m no plantio direto sem compactação adicional (PD) e no plantio direto com uma passada do trator (PDc1) foram encontrados os maiores valores de macroporosidade. A aplicação de maior número de passadas do trator acarretou a redução da macroporosidade na camada de 0,05-0,10 m, sendo os tratamentos plantio direto com quatro

(PDC4) e seis passadas (PDC6) do trator os que apresentaram os menores valores, enquanto no PD e o PDC1 estes foram mais elevados (**Tabela 2**).

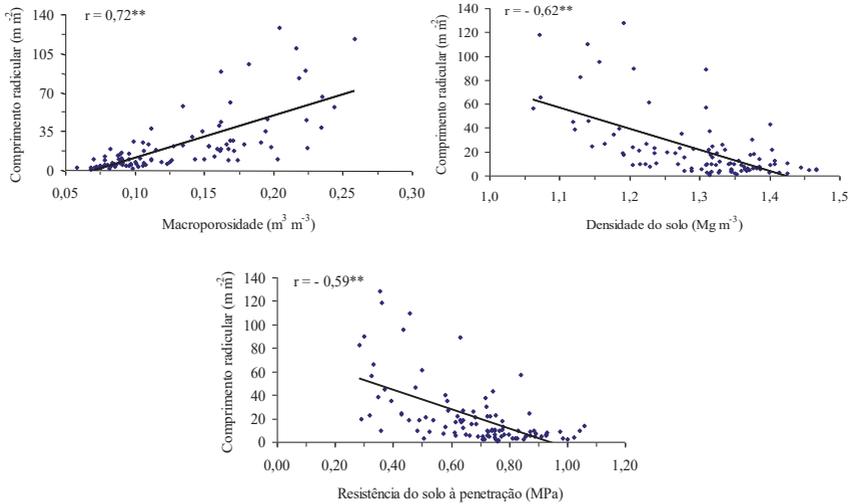


Figura 2. Comprimento radicular do milho de acordo com a macroporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração em Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa. **significativo pelo teste t, a 1% de probabilidade. Camada de 0,0-0,20 m (n=100). Fonte: Bergamin et al. (2010).

Tabela 2. Macroporosidade em diferentes profundidades e números de passadas de trator em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso cultivado com milho. Dourados-MS (2009).

| Tratamentos ⁽¹⁾ | Profundidade (m) | | | |
|---|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,0-0,05 | 0,05-0,10 | 0,10-0,15 | 0,15-0,20 |
| Macroporosidade (m ³ m ⁻³) | | | | |
| PD | 0,23 a | 0,16 a | 0,12 a | 0,10 a |
| PDc1 | 0,23 a | 0,15 ab | 0,11 a | 0,09 a |
| PDc2 | 0,19 b | 0,13 b | 0,10 a | 0,08 a |
| PDc4 | 0,17 b | 0,09 c | 0,10 a | 0,08 a |
| PDc6 | 0,17 b | 0,09 c | 0,10 a | 0,07 a |
| CV (%) | 9,18 | 14,56 | 17,09 | 16,38 |

⁽¹⁾ PD – plantio direto sem compactação adicional; PDc1, PDc2, PDc4 e PDc6 – correspondem a plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em uma, duas, quatro e seis passadas, respectivamente. Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Adaptado de Bergamin et al. (2010).

Comparando o tratamento PD com o PDc4 e PDc6, nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m, verifica-se uma redução na macroporosidade de 26% e 44%, respectivamente (Bergamin et al., 2010). Para macroporosidade do solo o valor dado como crítico às plantas é 0,10 m₃ m₋₃ (Pagliai et al., 2003), assim os valores de macroporosidade nos tratamentos PDc4 e PDc6 na camada de 0,05-0,10 m de profundidade foram inferiores ao crítico (**Tabela 2**), indicando prováveis limitações ao arejamento do solo em épocas mais úmidas.

Pode-se observar (**Figura 3**) a importância da macroporosidade sobre o crescimento do sistema radicular do milho, comparado com os demais atributos físicos do solo, mostrando que as raízes de milho crescem pelos espaços dos macroporos. Estabelecendo o limite crítico de macro e $0,10 \text{ m}_3 \text{ m}_3^{-1}$, pode-se observar que nesta porosidade já se encontra uma condição desfavorável ao crescimento radicular. As correlações da macroporosidade, D_s e RP com o crescimento radicular do milho evidenciam que, quando os valores desses atributos do solo estão mais distantes dos considerados críticos, o crescimento das raízes do milho é pouco influenciado por eles, sendo isso comprovado pela maior dispersão dos dados. Observa-se que a macroporosidade do solo a partir de $0,16 \text{ m}_3 \text{ m}_3^{-1}$ tem pouca influência sobre o crescimento das raízes do milho; quando os valores estão abaixo desse, nota-se pequena dispersão entre os dados, evidenciando elevada atuação deste atributo sobre as raízes do milho.

Ao se considerar o valor de macroporosidade crítica para o suprimento adequado de oxigênio às plantas (Pagliai et al., 2003), esse valor correspondeu a uma D_s de, aproximadamente, $1,36 \text{ Mg m}_3^{-1}$ e RP de, aproximadamente, $0,81 \text{ MPa}$ (**Figura 3**), indicando maior risco de limitações ao desenvolvimento e crescimento das plantas pela redução do crescimento radicular e absorção de água e nutrientes, em D_s e RP igual ou superior a esses valores.

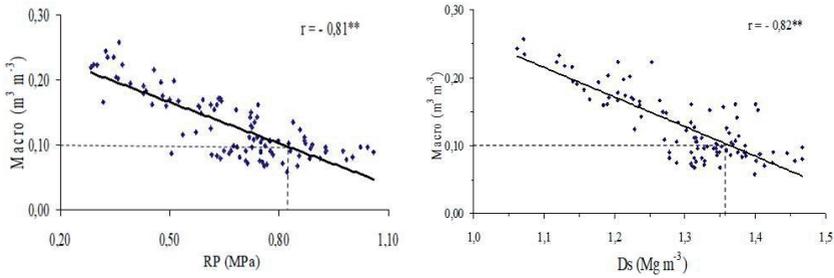


Figura 3. Macroporosidade (Macro) de acordo com a resistência do solo à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) determinadas em amostras de solo com conteúdo de água retida em capacidade de campo (-0,01 MPa). **significativo pelo teste t a 1%. Camada de 0,0-0,20 m (n = 100). Adaptado de Bergamin et al. (2015).

Com relação ao diâmetro radicular da cultura do milho, observa-se que a compactação do solo reduz os valores desse atributo em todas as profundidades (**Tabela 3**). Quando considerada a camada de 0,0–0,20 m, os tratamentos PD e PDc1 foram semelhantes entre si, apresentando sempre os maiores de diâmetro radicular. Os tratamentos PDc4 e PDc6 também foram semelhantes, mas com os valores de diâmetro radicular reduzidos. Essa redução pode ser uma adaptação das plantas às condições restritivas impostas pela compactação, para que as raízes possam penetrar no espaço poroso do solo de menor diâmetro, a fim de obter água e nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento. Clark et al. (2003) afirmam que há formação de raízes laterais com menor diâmetro para penetrar em pequenos poros.

Tabela 3. Diâmetro médio radicular do milho em diferentes profundidades e números de passadas de trator em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. Dourados-MS (2009).

| Tratamentos ⁽¹⁾ | Profundidade (m) | | | |
|----------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0,0-0,05 | 0,05-0,10 | 0,10-0,15 | 0,15-0,20 |
| Diâmetro de raiz (mm) | | | | |
| PD | 0,97 a | 1,00 a | 0,99 a | 0,96 a |
| PDc1 | 0,98 a | 1,01 a | 0,94 ab | 0,87 a |
| PDc2 | 0,92 ab | 0,82 b | 0,76 bc | 0,74 b |
| PDc4 | 0,82 bc | 0,89 ab | 0,82 abc | 0,70 b |
| PDc6 | 0,70 c | 0,78 b | 0,71 c | 0,69 b |
| CV (%) | 10,35 | 13,40 | 15,18 | 9,44 |

⁽¹⁾ PD – plantio direto sem compactação adicional; PDc1, PDc2, PDc4 e PDc6 – correspondem a plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em uma, duas, quatro e seis passadas, respectivamente. Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade. Adaptado de Bergamin et al. (2010).

Diante disso, verifica-se a importância do desenvolvimento e aperfeiçoamento de práticas que visem combater a degradação do solo. Além da escarificação mecânica por meio do uso de escarificadores e subsoladores, a descompactação biológica (Silveira Júnior et al., 2012) inclui o cultivo de plantas que tenham sistema radicular capaz de crescer em camadas de solo compactado (Magalhães et al., 2009), formando bioporos estáveis e melhorando os atributos físicos do solo. Estudos como os de Aita et al. (2001), conduzidos em diferentes condições edafoclimáticas, verificaram efeitos benéficos dos diferentes tipos de cobertura e de seus resíduos deixados sobre o solo, nos seus atributos químicos, físicos e no rendimento das culturas que posteriormente foram cultivadas.

Alternativas para o Manejo Físico do Solo em Sistemas Intensivos de Produção

Embora possam demandar ajustes em razão das condições edafoclimáticas e das políticas socioeconômicas, as alternativas para o manejo físico do solo em sistemas intensivos de produção dependem do funcionamento solo-planta-atmosfera e induzem à visão mais sistêmica em sistemas integrados de produção. Assim, busca-se encontrar indicadores de qualidade física do solo, exprimindo sua trabalhabilidade (resistência e resiliência) e interação com as plantas em um sistema aberto, contemplando os fatores bióticos e abióticos, que regem a produção de alimentos (Anghinoni et al., 2013).

Uma questão-chave no desenvolvimento de sistemas intensivos de produção agrícola e pecuária é a melhoria das propriedades físicas dos solos. Para Franzluebbers (2007), os sistemas mais diversificados são importantes para repor e manter a matéria orgânica do solo e proporcionar solos bem estruturados, o que favorece maior infiltração de água das chuvas e, conseqüentemente, maior disponibilidade para as plantas; redução do escoamento superficial, para evitar erosões e poluição dos corpos d'água; e penetração das raízes no perfil do solo, o que aumenta o volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas, melhorando a eficiência de uso de água e nutrientes.

Para conservar o solo produtivo por um longo período, é necessário desenvolver sistemas de cultivo que permitam manter ou melhorar a sua estrutura (Vilela et al., 2011). Com isso, se faz necessário o conhecimento dos atributos físicos do

solo, visando um manejo adequado. Uma importante estratégia quando se refere à sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais é optar pelo sistema plantio direto, que tem como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo (Caires et al., 2006). Além disso, uma alternativa para melhorar a qualidade estrutural do solo refere-se ao uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (Guth, 2010).

Para Bronick e Lal (2005), o uso de espécies vegetais pode alterar a agregação do solo, principalmente pela ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e, indiretamente, fornecendo nutrientes à fauna do solo. As gramíneas, por apresentarem sistema radicular fasciculado, são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados que as espécies vegetais com sistema radicular pivotante, mesmo em sistemas de cultivos anuais com revolvimento do solo, onde o sistema radicular é renovado constantemente (Salton et al., 2008). Para Albuquerque et al. (2005), a recuperação de solos degradados mediante uso de espécies vegetais é mais efetiva quando são associadas ao preparo reduzido, evidenciando a importância de sistemas de manejo de solo com baixo revolvimento e alto aporte de resíduos vegetais.

As raízes podem atuar como agentes recuperadores da qualidade física do solo. A utilização de espécies com diferentes características de sistema radicular, que podem ser incluídas como prática de manejo, é importante para o planejamento da recuperação de áreas fisicamente degradadas. Williams e

Weil (2004) observaram o desenvolvimento de raízes de soja, em solo compactado, nos bioporos deixados por raízes de nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) e canola (*Brassica rapa*), demonstrando o benefício que culturas antecessoras com capacidade de descompactação biológica podem trazer às subsequentes. Utilizando a aveia-preta (*Avena strigosa*) como cobertura do solo, Santi et al. (2003) verificaram melhorias nas características físicas do solo, como diminuição da Ds, aumento da macroporosidade e aumento da infiltração de água.

O uso da descompactação biológica vem se tornando essencial para lavouras em sistema plantio direto, pois as práticas mecânicas de descompactação (aração, subsolagem, escarificação e gradagem) não têm proporcionado efeitos duradouros no solo, por causa do processo natural de reconsolidação, resultante da ação da chuva e dos ciclos de umedecimento e secagem, mesmo na ausência de tráfego, como relatado por Souza (2012) e Venturoso (2014). Além do efeito ser de curto prazo, esse processo requer uma alta potência do trator, um alto gasto de combustível e não necessariamente implica aumento de rendimento das culturas, ocasionando, por vezes, até mesmo redução. Para Drescher et al. (2011), o efeito das intervenções com aração ou escarificação para a mitigação da compactação sobre os atributos físicos do solo é efêmero, ou seja, as melhorias nos atributos físicos desapareceram em poucos ciclos de cultivo, como já relatado por Tavares Filho et al. (2006), os quais analisaram o efeito da escarificação em um Latossolo Vermelho distroférrico manejado sob plantio direto por mais de 20 anos, e verificaram que, após um ano de cultivo, a área escarificada não mais diferia da área-testemunha com 20 anos sob plantio direto.

Como alternativa para a descompactação do solo, Severiano et al. (2010) apontam o uso do capim-tifton 85 como forrageira capaz de melhorar a estrutura solo, o que fortalece a ideia de que as gramíneas apresentam sistema radicular capaz de descompactar o solo, como também observado por Calonego et al. (2011). Estes autores verificaram que o capim-braquiária e o sorgo foram as espécies com maior quantidade de raízes na camada compactada de um Argissolo, constituindo espécies com maior potencial para estruturar solos degradados.

Para Stone e Silveira (2001), a intensificação da exploração agrícola aliada ao uso e ao manejo inadequado do solo tem provocado modificações com impactos negativos na qualidade física do solo. Para melhorar a forma de utilização do solo, tem sido proposta a determinação da curva de compressão do solo para mostrar alterações em sua estrutura (Dias Júnior & Pierce, 1995). Na curva de compressão do solo, encontram-se duas regiões distintas: a curva de compressão secundária, na qual ocorrem as deformações elásticas e recuperáveis, e a curva de compressão virgem, na qual ocorrem as deformações plásticas, não recuperáveis (Dias Júnior & Pierce, 1995). É na região da curva de compressão secundária que o solo deve ser pisoteado ou trafegado para que não ocorra compactação adicional (Dias Júnior & Pierce, 1995).

O desenvolvimento destes modelos de capacidade de suporte de carga é de suma importância para o manejo do tráfego de máquinas e do pisoteio de animais, indicando a máxima pressão que o solo suporta em diferentes umidades sem causar compactação adicional. Vale ressaltar que a capacidade de suporte de carga dos solos é reduzida quando se aumenta o conteúdo de água no solo. A compactação do solo pelo uso de

máquinas agrícolas nas várias etapas do processo de produção e o pisoteio bovino em condições inadequadas de umidade têm sido os principais responsáveis por acarretar perdas no potencial produtivo das áreas agrícolas e de pastagens.

Avaliando a capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho distroférico argiloso submetido a diferentes sucessões de culturas em sistema de plantio direto, Bergamin (2012) observou que os modelos que obtiveram as maiores pressões de preconsolidação devem-se provavelmente às maiores densidades iniciais do solo, o que promoveu maior aproximação das partículas, diminuindo a macroporosidade. Isso contribuiu para que a suscetibilidade do solo à compactação fosse diminuída; contudo, elevadas densidades também podem limitar o crescimento radicular das plantas.

Do ponto de vista prático, visando condições de sustentabilidade da estrutura do solo, o monitoramento da umidade do solo, a tentativa de realização das atividades mecanizadas em condição de umidade inferior à limitante, indicada no modelo de capacidade de suporte de carga, é eficiente em reduzir o risco de compactação causado pelo tráfego de máquinas (Souza et al., 2012). Por exemplo, um pulverizador autopropelido (4x2) utilizado em operações agrícolas exerce em uma passada uma pressão de 452 kPa sobre a superfície do solo (Silva et al., 2006), assim essa máquina deve trafegar no solo em condição de umidade inferior a 0,29; 0,31; 0,34 e 0,44 $m_3 m_3^{-1}$ na sucessão milho/níger, soja/níger, soja/milho e milho/cártamo, respectivamente, para não causar compactação adicional na camada de 0-5 cm de profundidade (Bergamin, 2012).

Comparando os modelos de capacidade de suporte de carga do solo das culturas em sucessão à soja e ao milho com o modelo da sucessão mais praticada no Brasil (soja/milho), observou-se que apenas as sucessões milho/níger e soja/níger apresentaram menores capacidades de suporte de carga (**Figura 4**) (Bergamin, 2012). Essas sucessões com a cultura do níger (*Guizotia abyssinica* Cass.) reduziram a Ds, que promoveu aumento da macroporosidade e reduziu a compactação, tornando o solo mais suscetível à compressão; contudo, melhorou a qualidade física do solo.

Possivelmente esse resultado está relacionado à presença do sistema radicular da cultura atuando na redução da RP e também pelo aporte de material orgânico ao solo. Carneiro et al. (2008) observaram elevado aporte de material vegetal do níger ($> 14 \text{ Mg ha}^{-1}$), incrementando a atividade microbiana do solo e conseqüentemente melhorando sua estrutura. Para Souza et al. (2008), a cultura do níger apresenta os requisitos de uma espécie de cobertura do solo, pois produz uma quantidade de fitomassa superior a 6 Mg ha^{-1} e acumula mais de 100 kg de nitrogênio por hectare. Essa manutenção de culturas que proporcionam maior aporte de resíduos orgânicos para o solo favorece a redução da Ds (Araújo Júnior et al., 2011).

Lima et al. (2012) citam que o desenvolvimento do sistema radicular proporciona o rompimento de camadas compactadas com conseqüente maior volume explorado de solo e melhor aproveitamento da água e dos nutrientes. Ao sofrer decomposição, as raízes contribuem para o aporte de carbono no solo, estimulando a atividade de microrganismos, o que contribui para a formação de bioporos e a melhoria estrutural do solo, num ciclo crescente de benefícios, contribuindo para o

restabelecimento do potencial produtivo e maior resiliência do solo (Lima et al., 2012), melhorando a qualidade física do solo para as culturas subsequentes (Foloni et al., 2006).

Outra alternativa de mitigação da compactação do solo tem sido o emprego de semeadoras-adubadoras equipadas com facão associado ao disco de corte, para descompactação na linha de semeadura em sistema de plantio direto. Sistemas dessa natureza permitem a mitigação da compactação do solo mediante o aumento da porosidade e a redução da Ds e da RP no local específico onde crescerão as raízes da planta cultivada, mas com efeito significativo quando a compactação estiver restrita à camada de 0,0-0,15 m de profundidade (Drescher et al., 2011). Segundo Koakoski et al. (2007), a adoção de mecanismo rompedor de solo tipo facão em semeadoras de plantio direto pode ocasionar aumento de 24,3% na porosidade do solo, comparativamente à adoção exclusiva de discos.

A semeadora-adubadora equipada com rompedores de solo tipo disco de corte + facão diminuiu a Ds e aumenta a macroporosidade na camada 7 a 15 cm, comparativamente à semeadora equipada com discos duplos defasados, o que pode ser atribuído à maior profundidade de atuação do facão (**Tabela 4**) (Drescher et al., 2011). As diferenças sobre as propriedades físicas do solo apenas nessa camada podem ser explicadas pelo fato de, na camada de 0 a 7 cm, ocorrer a atuação dos dois mecanismos de rompimento do solo (discos duplos e disco + facão). Já na camada de 7 a 15 cm ocorreu apenas a atuação do mecanismo disco + facão, em razão de esse mecanismo atuar até 12 cm de profundidade, razão por que não se poderia esperar alteração nos atributos físicos do solo na camada de 15 a 25 cm. Isso mostra que o mecanismo rompedor de solo

tipo disco + facão que equipa semeadora para plantio direto é mais efetivo em melhorar os atributos físicos do solo do que a intervenção mecânica com escarificação em solo manejado sob sistema plantio direto, mitigando a compactação do solo e reduzindo o esforço de tração (Drescher et al., 2011).

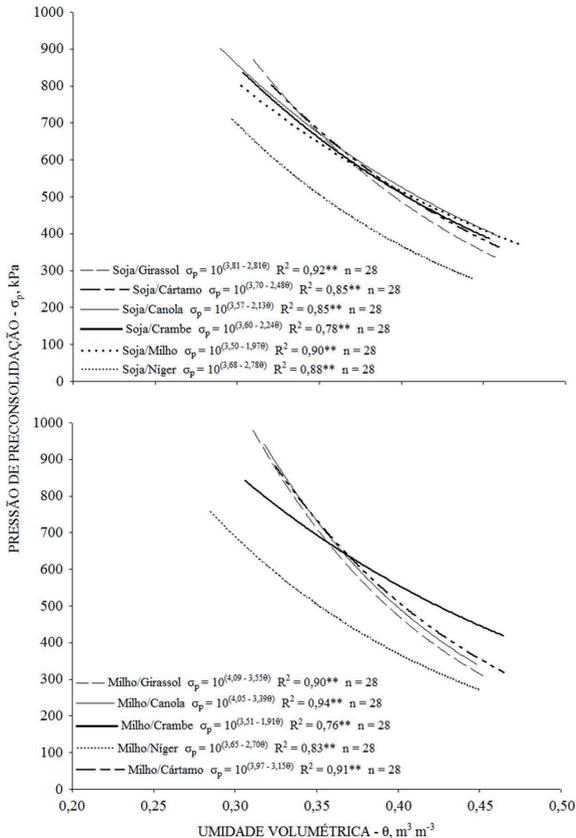


Figura 4. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 5-10 cm, cultivado com diferentes sucessões de culturas no município de Dourados-MS. Fonte: Bergamin (2012).

Tabela 4. Densidade, porosidade total e macroporosidade em um Latossolo Vermelho distrófico manejado sob sistema plantio direto (16 anos) com emprego de semeadora equipada com mecanismos sulcadores tipo discos duplos defasados e disco de corte + facão. Coxilha-RS (2009).

| Atributo do solo | Camada (cm) | Discos duplos | Disco + facão | CV (%) |
|--|-------------|---------------|---------------|--------|
| Densidade do solo (Mg m ⁻³) | 0 a 7 | 1,15 A b | 1,14 A b | 10,2 |
| | 7 a 15 | 1,36 A a | 1,30 B a | 7,1 |
| | 15 a 25 | 1,34 A a | 1,33 A a | 5,8 |
| Porosidade total (m ³ m ⁻³) | 0 a 7 | 0,49 A a | 0,49 A a | 6,1 |
| | 7 a 15 | 0,43 A b | 0,44 A b | 5,7 |
| | 15 a 25 | 0,43 A b | 0,43 A b | 6,0 |
| Macroporosidade (m ³ m ⁻³) | 0 a 7 | 0,15 A a | 0,15 A a | 35,5 |
| | 7 a 15 | 0,08 B b | 0,09 A b | 37,3 |
| | 15 a 25 | 0,07 A b | 0,07 A c | 37,9 |

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Adaptado de Drescher et al. (2011).

Qualidade Física do Solo em Milho Safrinha Consorciado com Gramíneas Forrageiras

Apesar dos potenciais benefícios da integração lavoura-pecuária, a adoção desses sistemas mistos de produção ainda é relativamente pequena no Brasil. A alteração na produção de um sistema especializado para sistemas mistos, mais complexos, demanda maior capacidade técnica e que ocorra uma mudança cultural nos produtores rurais. A expectativa é de que a adoção de integração lavoura-pecuária pelos produtores resulte em melhorias significativas na sustentabilidade

socioeconômica e ambiental de suas propriedades e da região de influência de suas fazendas (Vilela et al., 2011).

Há evidências de que a melhoria na qualidade de cobertura de solo para o sistema de plantio direto, por meio de gramíneas forrageiras, pode auxiliar no aumento da adoção da Integração Lavoura-Pecuária no Brasil. Além disso, o método mais prático para melhorar a estrutura do solo é a inclusão de espécies forrageiras nos sistemas de produção. Lal (1991) relata que a rotação de culturas anuais e pastagens é uma das melhores alternativas para obter manejo sustentável do solo e da água.

No Brasil Central, entre as braquiárias, a *Urochloa ruziziensis* tem assumido importância crescente quando o foco é o plantio direto, visto que os produtores a utilizam para a semeadura em consórcio com cultivos, sobretudo com milho safrinha. Embora esse consórcio seja utilizado principalmente como cobertura de solo para o sistema plantio direto, na primeira safra de verão e na segunda safra (safrinha), os produtores têm ampliado suas áreas com esse consórcio, em virtude dos benefícios para a produtividade das culturas em sucessão à braquiária. A expressiva massa de forragem obtida nesse sistema (20 Mg ha⁻¹ de massa verde) tem despertado o interesse dos produtores em aproveitar essa forragem na entressafra (maio a setembro) para a alimentação animal, despertando o potencial da engorda de boi (“safrinha de boi”), na Integração Lavoura-Pecuária (Vilela et al., 2011).

A melhoria da qualidade física dos solos é uma questão-chave no desenvolvimento de sistemas mistos de produção. Os sistemas, como a Integração Lavoura-Pecuária, são importantes para repor e manter a matéria orgânica do solo e promover o

aumento da sua agregação, proporcionando melhoria em sua estrutura, o que favorece a maior taxa de infiltração de água com conseqüente redução do escoamento superficial, evitando erosões; além de minimizar os efeitos da compactação do solo, por meio da redução da RP das raízes, o que aumenta o volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, a eficiência de uso de água e nutrientes. Para que estes sistemas mistos funcionem bem, é necessária a utilização de gramíneas forrageiras bem manejadas, pois Sousa et al. (2010) relataram que estas plantas têm a capacidade de aumentar o teor de matéria orgânica no solo acima dos teores originais, em contraste com os cultivos anuais em plantio convencional e em plantio direto, que normalmente têm reduzido os teores de carbono orgânico no solo.

Trabalho realizado por Franchini et al. (2009) no Estado do Paraná, utilizando diferentes sucessões de culturas em monocultivo e consorciadas, verificou que o uso da *U. ruziziensis*, em cultivo solteiro, reduziu a RP em relação ao milho safrinha solteiro ou ao consórcio aveia-preta + nabo-forrageiro, a valores que não são limitantes à soja cultivada após estes cultivos (**Figura 5**). O consórcio do milho safrinha com *U. ruziziensis* também contribuiu para reduzir a RP a valores que não são críticos ao desenvolvimento radicular da soja, apesar desse efeito ter sido de menor intensidade em relação à braquiária solteira. Isso comprova a capacidade que as raízes da *U. ruziziensis* apresentam em melhorar a estrutura do solo, rompendo camadas compactadas. Apesar da menor contribuição do consórcio milho safrinha + *U. ruziziensis* comparado a *U. ruziziensis* em cultivo solteiro para a melhoria da qualidade física do solo, os resultados indicam que o consórcio é uma alternativa interessante para recuperar

as condições físicas ideais do solo, sem que seja necessária a retirada do milho do sistema produtivo (Franchini et al., 2009).

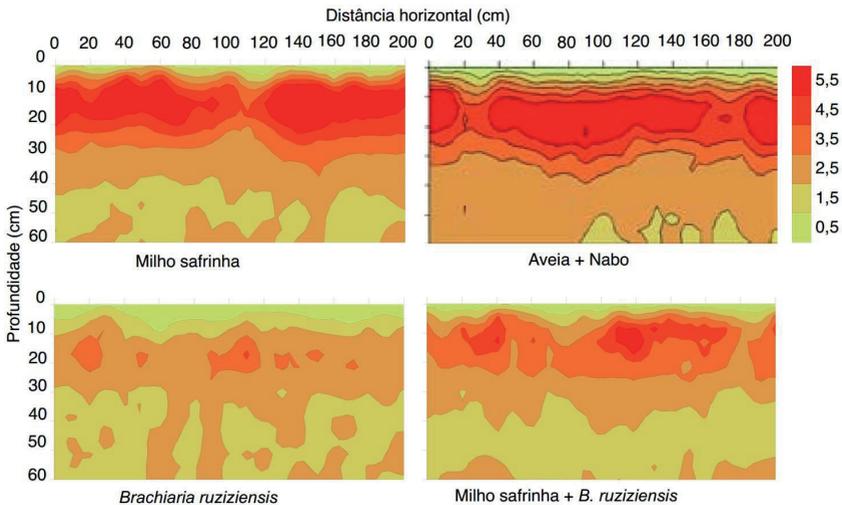


Figura 5. Perfis de resistência do solo à penetração (MPa) em função de diferentes culturas de outono-inverno na Unidade de Referência Tecnológica de Maringá. Embrapa Soja/Cocamar, 2008. Distância horizontal em relação à linha de cultivo. Fonte: Franchini et al. (2009).

Analisando a produtividade de grãos de milho safrinha no ano de 2014 em uma área experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR, cultivada com sistema plantio direto desde 1991, e submetida a indução da compactação e escarificação mecânica do solo, Moraes (2017) verificou que a produtividade de grãos dessa cultura foi reduzida na área escarificada e nas áreas com compactação adicional por tráfego de trator e colhedora em relação ao solo no sistema plantio direto sem compactação adicional (**Figura 6**). Os níveis intermediários de Ds, em sistema plantio direto, proporcionam as melhores condições físicas para

o desempenho produtivo na cultura do milho. A escarificação do solo pode ser tão prejudicial quando a compactação do solo, pois ambas reduzem a produtividade de grãos da cultura do milho (Moraes, 2017).

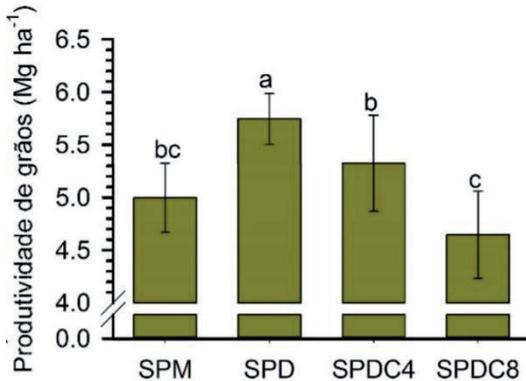


Figura 6. Produtividade de milho safrinha em níveis de compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico. SPM: preparo reduzido com escarificação; SPD: sistema plantio direto; SPDC4: SPD com 4 tráfegos com trator de 7,2 Mg; SPDC8: SPD com oito tráfegos de colhedora com massa total de 9,5 Mg. Médias seguidas por mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 10%; barras indicam o erro padrão. Fonte: Moraes (2017).

Agora avaliando a distribuição radicular no perfil do solo em relação à linha e entrelinha da cultura do milho safrinha, Moraes (2017) observou alteração nesta variável em função dos níveis de compactação do solo (**Figura 7**). O incremento dos níveis de compactação no solo favoreceu aumentos na quantidade de raízes no perfil do solo (**Figuras 7c, 7d**) em relação ao solo escarificado (**Figura 7a**). Principalmente

na camada de 0-10 cm, o tráfego com colhedora (SPDC8) proporcionou incrementos na densidade de comprimento radicular em relação ao solo escarificado (**Figura 7a**). Este aumento na densidade de comprimento radicular no SPDC8 esteve condicionado à maior concentração de raízes próximas à linha de semeadura do milho (**Figura 7d**). De forma geral, no perfil do solo houve alterações na distribuição do sistema radicular, principalmente nos 30 cm próximos da linha de semeadura, em profundidade no perfil do solo. Os níveis de compactação do solo incrementaram as limitações físicas ao crescimento radicular, em função da RP (Moraes, 2017).

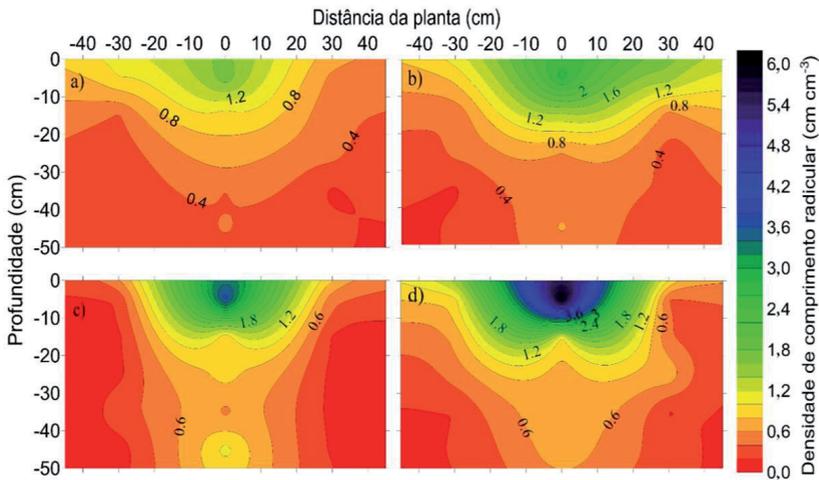


Figura 7. Densidade do comprimento radicular de milho safrinha no sistema de preparo reduzido com escarificação do solo (a), em sistema plantio direto (b), em sistema plantio direto trafegado com 4 passadas de trator com massa total de 7,2 Mg (c) ou em sistema plantio direto trafegado com 8 passadas de colhedora com massa total de 9,5 Mg (d) em um Latossolo Vermelho distroférico. Fonte: Moraes (2017).

Considerações Finais

A intensificação do uso do solo em áreas com agricultura e pecuária e o aumento da eficiência dos sistemas de produção, quando manejados de forma harmoniosa, podem contribuir para melhoria da qualidade física do solo buscando obter o máximo de produtividade por área por meio do sinergismo entre pastagens e culturas anuais.

Nesse cenário, a estratégia de integração lavoura com a pecuária (sistema misto) pode ser uma alternativa para o manejo intensivo dos solos, mas vale ressaltar que este sistema de produção é muito mais complexo, passando a exigir maior nível tecnológico no manejo das condições físicas do solo, que constantemente deve buscar uma maior quantidade de palha na superfície e de raízes no perfil do solo, oriundas das culturas implantadas nos sistemas intensivos de produção, proporcionando maior aporte de carbono orgânico e conseqüentemente melhorando a estrutura dos solos.

Assim, o consórcio de milho safrinha, especialmente com gramíneas forrageiras, tem contribuído para a melhoria de diversos atributos físicos do solo. Por serem culturas com sistema radicular agressivo, as gramíneas minimizam os efeitos negativos da compactação do solo, mantendo ou aumentando a qualidade física dele.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo

e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 415-424, 2005.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro. In: ARAÚJO, A. P.; AVELAR, B. J. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2013. p. 325-380.

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 157-165, 2001.

ARAÚJO JÚNIOR, C. F.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 115-131, 2011.

BERGAMIN, A. C. **Indicadores da qualidade estrutural de um Latossolo cultivado com oleaginosas em sistema de sucessão com soja e milho**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2012.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 681-691, 2010.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, F. R.; VENTUROSO, L. R.; BERGAMIN, L. P. P.; CAMPOS, M. C. C. Relationship of soil physical quality parameters and maize yield in a Brazilian Oxisol. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Santiago de Chile, v. 75, p. 357-365, 2015.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, p. 3-22, 2005.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 87-98, 2006.

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, p. 289-296, 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 455-462, 2008.

CLARK, L. J.; WHALLEY, W. R.; BARRACLOUGH, P. B. How do roots penetrate strong soil? **Plant and Soil**, The Hague, v. 255, p. 93-104, 2003.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 8, p. 139-151, 1995.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1713-1722, 2011.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 49-57, 2006.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 39 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FRANZLUEBBERS, A. J. Integrated crop-livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 361-372, 2007.

GUTH, P. L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; SOUZA, L. C. F.; REIS, E. F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda

compactadora. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 725-731, 2007.

LAL, R. Tillage and agricultural sustainability. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 133-146, 1991.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 71-78, 2012.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 28, p. 133-146, 2009.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. Recuperação estrutural e produção do capim-Tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, p. 68-76, 2009.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 873-882, 2007.

MORAES, M. T. **Modelagem do crescimento radicular de milho e soja sujeito a estresses hídrico e mecânico em Latossolo**. 2017. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in Central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, p. 119-129, 2003.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 821-828, 1999.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I-Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p. 1075-1083, 2003.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 39-45, 2010.

SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; CARDOSO, V. M. F.; MIRANDA, E. E. V. Atributos físicos, mecânicos e dinâmicos do solo como

indicadores do impacto do cultivo e do tráfego em perímetros irrigados. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 384-401, 2006.

SILVEIRA JÚNIOR, S. D.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1854-1867, 2012.

SOUZA, F. R. **Influência da intensidade do tráfego e de sistemas de manejo nas propriedades físicas do solo e nas culturas de soja e girassol**. 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2012.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; BANYS, V. L. Fitomassa e acúmulo de nitrogênio, em espécies vegetais de cobertura do solo para um Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 525-531, 2008.

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 603-612, 2012.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 67-134.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 996-999, 2006.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.

VENTUROSO, L. A. C. **Atributos físicos do solo em função do manejo e sucessão de culturas em ambiente amazônico**. 2014. 58 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 1127-1138, 2011.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, p. 1403-1409, 2004.

Capítulo 5

Construção da Fertilidade do Solo e Manutenção de Ambientes de Elevado Potencial Produtivo

Álvaro Vilela de Resende

Eduardo de Paula Simão

Miguel Marques Gontijo Neto

Emerson Borghi

Flávia Cristina dos Santos

Introdução

A exploração de culturas anuais, especialmente de soja e milho, tem tido participação crescente em proporções da área, da produção e do mercado no segmento agrícola, com reflexos positivos e muito significativos no PIB do Brasil. Esse notável desempenho se deve aos avanços tecnológicos envolvendo melhoramento genético e tratos culturais diversos, que possibilitaram intensificar o uso da terra, obtendo-se mais de uma colheita por ano em condições de sequeiro. Um dos pilares de sustentação dos sistemas de produção atuais é a melhoria da fertilidade dos ambientes de cultivo, pelo uso de corretivos e fertilizantes, que, adequadamente realizado, permite superar as condições químicas originalmente restritivas ao desenvolvimento de lavouras em solos tropicais.

O condicionamento inicial do perfil do solo para viabilizar sua utilização agrícola, por meio da incorporação de calcário e de adubações corretivas, é comumente referido como a etapa de “construção da fertilidade”. Contudo, para o efetivo

estabelecimento e manutenção de ambientes de alto potencial produtivo são requeridos procedimentos encadeados de diagnóstico e de manejo do solo e das culturas ao longo do tempo, visando prover qualidade química, física e biológica ao substrato de crescimento (Kappes & Zancanaro, 2014), para que as plantas possam utilizar eficientemente os recursos disponíveis (água, nutrientes, luz) e o produtor tire máximo proveito do potencial genético das cultivares utilizadas.

Sob essa ótica, os solos de fertilidade construída são resultado não apenas dos aportes de corretivos e fertilizantes, mas também da implementação de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas que favorecem a conservação do solo, a infiltração da água das chuvas, a preservação da matéria orgânica (MOS) e a retenção de umidade no perfil. Deve-se frisar que todos esses benefícios estão associados à aplicação das premissas do sistema plantio direto (SPD), quais sejam, o não revolvimento do solo, a manutenção de palhada cobrindo sua superfície e a adoção da rotação de culturas. Esse processo de melhoria só se consolida após algum tempo, geralmente mais de três anos, requerendo fundamentos técnico-científicos e esmero do produtor, de modo que a busca constante por aprimoramentos no sistema de produção passe a fazer parte da rotina da fazenda.

Infelizmente, nem todos têm acesso aos meios ou reconhecem a importância dos cuidados com o solo para garantia de boas produtividades e, principalmente, para a estabilidade de produção frente à inconstância do clima e de outros fatores que interferem nas lavouras. Conseqüentemente, é comum encontrar, mesmo numa região com oferta ambiental homogênea (tipo de solo, precipitação pluviométrica,

luminosidade, etc.), lavouras com condições muito distintas de vigor e potencial produtivo.

Ao longo da última década, o cultivo do “milho safrinha” após a colheita da soja no verão consolidou-se como a principal modalidade de produção do cereal no País, superando o milho safra em área plantada e quantidade de grãos colhida (CONAB, 2017). Nesse contexto, atualmente a sucessão soja/milho safrinha constitui o padrão modal de sistemas de produção de grãos em extensas áreas, sobretudo na região Centro-Sul e marcadamente no bioma Cerrado. Embora sem dúvida seja um avanço em relação às monoculturas, a simples repetição da sequência soja/milho safrinha, de forma continuada ao longo dos anos, não é a situação ideal. Isso porque, além de não cumprir o requisito de rotação de culturas do SPD, acaba por representar uma condição de cultivo muito simplificada, favorecendo o surgimento de problemas de solo e fitossanitários. Cabe, portanto, envidar esforços para se aumentar a diversidade vegetal nas áreas dedicadas ao sistema soja/milho safrinha, seja pela alternância com outras culturas de valor comercial seja pela inserção de espécies de plantas de cobertura.

Um agravante é que, muitas vezes, o milho safrinha vem sendo cultivado sem maiores cuidados com a adubação do sistema, fiando-se no suposto residual da adubação realizada para a soja. Apesar da menor responsividade do milho safrinha à adubação, comparativamente ao milho safra, o potencial genético das sementes utilizadas é elevado e, sob condições climáticas e fitossanitárias favoráveis, a produtividade na safrinha pode surpreender. Os altos níveis de produtividade atualmente alcançados, tanto na soja quanto no milho

safrinha em algumas lavouras, podem implicar significativa remoção de nutrientes nas colheitas. Numa visão de mais longo prazo, é preciso entender que, sem manejo coerente, mesmo os solos de fertilidade construída estão sujeitos a desequilíbrios e carências de determinados nutrientes, que acabam por comprometer o desempenho do sistema como um todo. É preciso ficar claro que, se não for dada atenção aos requerimentos nutricionais do milho safrinha, a produtividade poderá se dar à custa do esgotamento das reservas existentes no solo, impactando inclusive o teor de matéria orgânica, componente imprescindível à sustentabilidade do sistema.

Nesta publicação são abordados aspectos relacionados à construção da fertilidade no perfil de solo e a estratégias para manutenção de ambientes de elevado potencial produtivo, para sistemas envolvendo a cultura do milho safrinha. Também são discutidas implicações para a estabilidade do sistema de produção, decorrentes de eventuais omissões ou negligências no manejo nutricional do milho safrinha.

Estabelecimento e Manutenção de Ambientes de Fertilidade Construída

Embora normalmente técnicos e produtores associem as estratégias para construção da fertilidade do solo à fase de abertura de novos talhões para a agricultura, frequentemente se detectam problemas em áreas de cultivo supostamente consolidadas, cuja solução adequada depende da aplicação de alguma prática de construção da fertilidade. Um exemplo comum é a identificação de lavouras em SPD com elevada acidez logo abaixo dos primeiros centímetros do perfil, levando

à necessidade de se efetuar o revolvimento do solo para suficiente incorporação de calcário. Neste caso, geralmente o manejo da acidez foi falho no estabelecimento inicial e na manutenção do SPD. Portanto, a qualquer tempo, um correto diagnóstico do solo é imprescindível para se alcançar e manter a condição de fertilidade construída.

A análise do solo é o instrumento balizador da definição de quanto de cada insumo precisa ser aplicado numa dada condição. Tendo como referências os níveis críticos de atributos de fertilidade sugeridos para uma determinada região (**Tabelas 1, 2, 3 e 4**) é possível confrontar os resultados da análise e, prosseguindo com consultas a tabelas ou fórmulas indicadas nos manuais, chega-se às quantidades de corretivos, condicionadores de solo e fertilizantes mais apropriadas a cada situação (Resende et al., 2016a).

Nas **Tabelas 1, 2 e 3** são apresentados indicadores de condições mínimas a serem estabelecidas para construção da fertilidade, respectivamente, para solos da região do Cerrado e para os estados de São Paulo, do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Um exemplo de particularização e ajuste desses indicadores consta na **Tabela 4**, em que os valores propostos foram estabelecidos considerando as condições edafoclimáticas e os sistemas de cultivo característicos da área de atuação da Cooperativa Agrária, sediada em Guarapuava-PR. O uso de critérios regionalizados mais específicos, de preferência validados localmente, é um requisito importante quando se busca aprimorar a gestão de solos de fertilidade construída em âmbito local, pois, para esse objetivo, a adoção de indicadores desenvolvidos de forma genérica para um estado ou bioma constitui uma simplificação precária.

Tabela 1. Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura/CTC, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva no Cerrado. Fonte: adaptado de Sousa e Lobato (2004) e Benites et al. (2010).

| Teor de argila | Atributos associados à fertilidade do solo | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------|--|---------------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| | Mat. orgânica | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Mn | Zn | V |
| g kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | ... mg dm ³ ... | cmol _c dm ⁻³ ... | mg dm ⁻³ | | | | | | | % |
| ≤ 150 | 10 | 25 | 40 | | | | | | | | |
| 160 a 350 | 20 | 20 | | | | | | | | | |
| 360 a 600 | 30 | 12 | 80 | 2,4 | 1,0 | 9 | 0,5 | 0,8 | 5,0 | 1,6 | 50 |
| > 600 | 35 | 6 | | | | | | | | | |

*Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e interpretação considerando a média dos valores obtidos em amostras coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1, com interpretação considerando o pH (água) do solo próximo de 6,0. Para o K, os teores críticos de 40 e 80 mg dm₋₃ referem-se a solos com $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0} < 4,0$ e $> 4,0$ cmol_c dm₋₃, respectivamente.

Tabela 2. Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva no estado de São Paulo. Fonte: adaptado de Raji et al. (1996).

| Teor de argila | Atributos associados à fertilidade do solo | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|---------------------|-----|--------------------------------|----|----|---------------------------------|-----|----|-----|----|
| | Mat. orgânica | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Mn | Zn | V |
| g kg ⁻¹ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | | ... mmolc dm ⁻³ ... | | | mg dm ⁻³ | | | | % |
| ≤ 150 | 15 | | | | | | | | | | |
| 160 a 350 | 16 a 30 | 20 | 1,6 | 7 | 5 | 10 | 0,6 | 0,8 | 5 | 1,2 | 70 |
| 360 a 600 | 31 a 60 | | | | | | | | | | |

Teores de P e K determinados com o extrator Resina de Troca Iônica. Teor de S determinado por extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ e interpretação considerando amostra coletada na profundidade de 0 a 20 cm. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator DTPA.

Tabela 3. Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando subdivisões relacionadas à textura/CTC, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Fonte: adaptado de Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

| Teor de argila | Atributos associados à fertilidade do solo | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|----------------------------|--|---------------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| | Mat. orgânica | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Mn | Zn | V |
| g kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | .. mg dm ⁻³ ... | . cmol _c dm ⁻³ ... | mg dm ⁻³ | | | | | | | % |
| ≤ 200 | 25 | 21 | 45 | | | | | | | | 45 |
| 210 a 400 | 50 | 12 | | | | | | | | 64 | |
| 410 a 600 | > 50 | 9 | 60 | 4,0 | 1,0 | 5 | 0,3 | 0,4 | 5,0 | 0,5 | 80 |
| > 600 | □ | 6 | 90 | | | | | | | | 80 |

A profundidade de 0-20 cm corresponde à camada diagnóstica na fase de estabelecimento do sistema plantio direto. No sistema consolidado, o monitoramento deve, preferencialmente, basear-se em amostras estratificadas de 0-10 e 10-20 cm. Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1. Para o K, os teores críticos de 45, 60 e 90 mg dm⁻³ referem-se a solos com $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0} < 5,0$; entre 5,1 e 15,0; e > 15,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente.

Tabela 4. Valores de referência (níveis críticos) para atributos da fertilidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para o estabelecimento de ambientes de produção intensiva na região Centro-Sul do Paraná. Fonte: adaptado de Fontoura et al. (2015) e Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

| Teor de argila | Atributos associados à fertilidade do solo | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|-----------------------|----|--------------------------|-----|--------------------------|-------|-----|-----|-----|----|
| | Mat. orgânica | P | K | Ca | Mg | S | B | Cu | Mn | Zn | V |
| g kg ⁻¹ | g kg ⁻¹ | . mg dm ⁻³ | .. | . cmolc dm ⁻³ | |mg dm ⁻³ | | | | | % |
| 350 a 600 | 60 | 8 | 90 | 4,0 | 1,0 | 5,0 | 0,3 | 0,4 | 5,0 | 0,5 | 70 |

Teores de P e K determinados com o extrator Mehlich 1. Teor de S determinado por extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Teor de B determinado por extração com água quente e teores de Cu, Mn e Zn determinados usando o extrator Mehlich 1.

A seguir, apresenta-se uma síntese dos passos a serem observados e principais práticas para construir e manter a fertilidade do solo em sistemas de produção de culturas anuais. Maior detalhamento pode ser encontrado em publicação de Resende et al. (2016a) sobre essa temática.

Antes do estabelecimento do plantio direto, é preciso incorporar calcário na quantidade necessária para corrigir a acidez e ainda criar um efeito residual que faça perdurar condições favoráveis ao desenvolvimento radicular das culturas na camada até 20 ou 30 cm de profundidade. A partir de então, aplicações superficiais periódicas possibilitarão manter um fluxo de reabastecimento do perfil com as bases cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e de compensação dos processos de reacidificação do solo que ocorrem com o tempo.

Mesmo em áreas que já tenham recebido incorporação de calcário, é comum que baixos teores de Ca e presença de alumínio (Al) em saturação acima de 20% na CTC efetiva sejam fatores limitantes em profundidade. Nesse caso, a gessagem permite condicionar porções inferiores do perfil onde o efeito da calagem não chega, favorecendo o acesso de raízes e aproveitamento de água e nutrientes em zonas mais profundas, fato relevante ao desempenho dos cultivos sujeitos a déficit hídrico (veranicos), limitação que afeta muitas áreas de safrinha. O aprofundamento radicular também resulta em incorporação de carbono no perfil, com melhorias em atributos químicos, físicos e biológicos associadas à maior presença de MOS.

Além do controle da acidez, os solos devem receber adubações corretivas com fósforo (P), potássio (K) e micronutrientes quando necessário. As alternativas e os procedimentos para essas operações se encontram bem descritos nos manuais de fertilidade do solo e adubação. Um perfil de fertilidade construída em toda a camada de 0 a 20 cm é a premissa principal a ser observada quando se pretende estabelecer um SPD de qualidade para alto potencial produtivo.

O P precisa ser suprido de forma a assegurar disponibilidade satisfatória nessa camada, o que não se consegue somente com aplicações em superfície sem incorporação, em razão da mobilidade muito baixa desse nutriente no solo. A concentração de P somente na superfície aumenta o risco em lavouras sob influência de veranicos, além de prejudicar a expressão do potencial genético das cultivares, sobretudo quando se trata de um SPD pobre em palhada e diversificação de culturas (Zancanaro et al., 2015; Prochnow et al., 2017).

Em sequência às adubações corretivas, trabalha-se com as adubações de manutenção a cada cultivo. Em última instância, as produtividades resultantes de muitos condicionantes e suas interações é que vão delimitar as reais exigências de adubação de manutenção ao longo do tempo. O efeito residual das sucessivas aplicações de fertilizantes nessas adubações irá compor os estoques de nutrientes no ambiente de cultivo, constituindo créditos de suprimento às culturas subsequentes.

Verifica-se que nutrientes como P, Ca, Mg e zinco (Zn) apresentam tempo de residência mais prolongado e tendem a se acumular no sistema, com elevação dos teores disponíveis na análise de solo. Comportamento intermediário se observa no caso do K, enxofre (S) e cobre (Cu), cuja disponibilidade pode oscilar mais abruptamente. Já para nitrogênio (N) e boro (B), a permanência em condições de aproveitamento pelas plantas tende a ser mais efêmera, com baixo efeito residual, razão pela qual as adubações com esses nutrientes devem ser mais frequentes.

A adoção do SPD é um requisito fundamental para a estabilidade dos solos de fertilidade construída e incremento do seu potencial produtivo. A condução do SPD com diversificação de espécies e elevado aporte de palhada deve constituir a etapa mais avançada a integrar o conjunto de técnicas preconizado para a construção da fertilidade. Nesse aspecto, a adoção exclusiva da sucessão soja/milho safrinha é questionável, pois não garantiria a sustentabilidade desejável ao sistema. Um desafio que se impõe à pesquisa e aos produtores é a necessidade premente de intensificação ecológica nessas áreas, conforme o perfil de cada região. Mesmo quando variar as espécies de culturas comerciais não se mostra viável por

razões climáticas ou de mercado, é preciso entender que algum sacrifício no curto prazo pode ser compensado mais adiante, gerando maior estabilidade e retorno em longo prazo.

Na região do Cerrado, exemplos têm demonstrado que alguma modalidade de inclusão de plantas de cobertura, como braquiária, milheto, guandu e crotalária, traz benefícios importantes para a qualidade do sistema soja/milho safrinha, inclusive com reflexos na rentabilidade ao produtor. Conforme a situação, esses benefícios envolvem desde uma melhor retenção e aproveitamento de água das chuvas até o controle de problemas fitossanitários, como os prejuízos por nematoides, além de melhorar a ciclagem/disponibilidade de nutrientes, aumentar a MOS e a atividade biológica, e promover a qualidade física do solo.

Matéria Orgânica como Alicerce do Potencial Produtivo do Sistema

No meio técnico-científico e entre os produtores, muita ênfase é dada à discussão e aplicação de tecnologias de condicionamento da fertilidade química do solo, o que se justifica por esse processo envolver a utilização de insumos que oneram significativamente o custo de produção. Embora se reconheça a importância da fração orgânica do solo para os ambientes de cultivo, na maioria das vezes, a única iniciativa de manejo empreendida nas fazendas é minimizar o revolvimento da terra como forma de conservar o teor de MOS. Essa medida é necessária, porém, não suficiente para garantir um SPD de qualidade, devendo ser acompanhada de estratégias para promover a diversificação/rotação de culturas e uma elevada

produção de palhada para cobrir o solo e impulsionar a formação de matéria orgânica.

Ainda são poucos os produtores que têm metas bem definidas de aumentar os teores de matéria orgânica em suas áreas de cultivo e mais raros ainda os que têm pleno domínio dos meios para tal. Essa conjuntura é compreensível, até certo ponto, quando se considera a complexidade que é lidar com a fração orgânica do solo, a qual deriva essencialmente da quantidade e qualidade dos restos culturais, sendo, portanto, dependente de decisões sobre a combinação e o manejo de espécies vegetais para compor o sistema de produção na fazenda. Todavia, em todas as regiões agrícolas podem ser encontrados casos bem-sucedidos, em que alguns produtores se destacam em melhorar a condição de suas lavouras pela aplicação de técnicas que convergem para privilegiar o conteúdo de MOS, com reflexos positivos no desempenho em produtividade e rentabilidade.

A capacidade de troca de cátions (CTC) pode ser entendida como a expressão do tamponamento do solo, que nas regiões tropicais é majoritariamente derivado da presença de colóides orgânicos, sendo, portanto, a MOS o principal constituinte edáfico a proporcionar resiliência ao sistema de produção. Além de apresentar maior estoque de nutrientes que podem ser liberados às culturas pela mineralização/ciclagem, um solo com maior conteúdo de matéria orgânica propicia diversas vantagens pelo seu efeito tamponante do ambiente de cultivo, amenizando os extremos de condições químicas (situações de carência de nutrientes ou excesso de elementos nocivos) e de temperatura, desequilíbrios biológicos, ressecamento ou encharcamento.

Os efeitos da matéria orgânica nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo favorecem atributos físicos importantes, como a agregação e a porosidade, condicionando uma estrutura que facilita a penetração de raízes e a infiltração da água da chuva, retendo umidade e prevenindo a compactação. A presença de MOS estimula a atividade e diversidade biológica, minimizando riscos de desequilíbrios que podem ocasionar problemas fitossanitários. Por tudo isso, um solo enriquecido em matéria orgânica oferece maior resiliência ao sistema, ao possibilitar o desenvolvimento de lavouras mais vigorosas e ajudar as culturas a suportarem e se recuperarem mais rapidamente de estresses abióticos e bióticos que ocorrem ao longo do ciclo.

Aumentar o teor de MOS em áreas agrícolas dedicadas à produção de grãos não é objetivo facilmente alcançado em larga escala e, em geral, há um limite para a acumulação de MOS que é imposto pelas características ambientais locais, que condicionam certo equilíbrio entre aportes e perdas de carbono no sistema. Num exemplo simplificado, considerando uma mesma quantidade de palhada adicionada anualmente no sistema soja/milho safrinha, é mais difícil manter o teor de MOS em lavoura do Mato Grosso do que no Paraná. Isso porque as temperaturas mais elevadas ao longo do ano fazem com que a decomposição dos restos culturais seja mais intensa no primeiro caso, predispondo à maior degradação da MOS. Esse contraste é mais nítido quando se comparam determinadas regiões de clima tropical chuvoso com outras de clima subtropical tendendo a temperado (por exemplo, Cerrado vs Sul do Brasil).

Se por um lado é difícil aumentar, por outro é muito fácil perder conteúdo de MOS pela exploração agrícola (**Figura 1**), o que impõe a necessidade de esforços para ao menos manter o seu teor na lavoura num patamar semelhante ao encontrado em áreas de vegetação nativa das proximidades. O valor de CTC do solo é um dos principais indicadores do potencial produtivo da agricultura num dado ambiente e do seu grau de tamponamento, sendo diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica presente no perfil (Silva et al., 1994; Canellas et al., 2008; Sá et al., 2010). O papel da matéria orgânica é ainda mais proeminente no caso dos ambientes muito intemperizados das zonas tropicais, em que as argilas são de baixa atividade, e torna-se crucial para a sustentabilidade da atividade agrícola em solos arenosos (**Figura 1**).

Quando bem manejados, os solos sob SPD podem manter ou até incrementar os teores originais de matéria orgânica, dependendo do tempo de adoção do sistema e da região do País. Em geral, eventuais acréscimos nos teores de MOS são de pequena magnitude, mas é preciso entender que mesmo aumentos equivalentes a 1% ou menos têm enorme significado para o potencial agrícola daquele ambiente de produção. A **Figura 1** ilustra bem esse fato. Pode-se observar que quanto mais arenoso é o solo maiores são os prejuízos decorrentes da perda de matéria orgânica. A redução de 1% no teor de matéria orgânica é proporcionalmente muito mais impactante na retenção de nutrientes e água nos solos mais arenosos, para os quais se torna mandatário empregar sistemas de cultivo conservacionistas e com grande aporte de resíduos orgânicos, a fim de evitar a perda da capacidade produtiva.

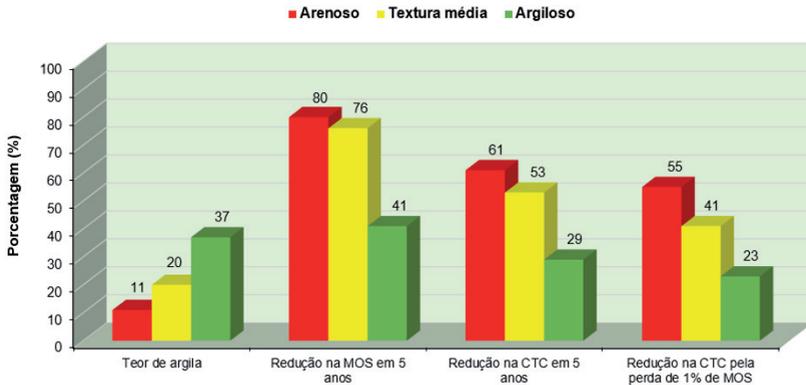


Figura 1. Teores de argila em áreas agrícolas da região Oeste da Bahia e respectivas perdas de matéria orgânica do solo (MOS) e da capacidade de troca de cátions (CTC), após cinco anos de preparo da terra com aração/gradagem e monocultivo de soja. Fonte: adaptado de Silva et al. (1994).

A matéria orgânica apresenta capacidade de retenção de água e nutrientes muito mais elevada do que as argilas dos solos tropicais, sendo seu teor muito influenciado pelo tipo de manejo que o produtor adota. Ou seja, se o produtor utiliza práticas agrícolas que preservam ou mesmo aumentam a presença de MOS, automaticamente ele está mantendo ou ampliando a capacidade produtiva daquele ambiente de cultivo. Assim, a matéria orgânica funciona como um curinga da agricultura tropical e seu valor é inestimável, sendo tão mais importante quanto mais arenoso for o solo.

Esquemáticamente, a **Figura 2** ilustra como solos diferentes têm capacidade distinta de armazenamento e fornecimento de água e nutrientes para o desenvolvimento das culturas.

Por trás de uma mesma condição inicial de disponibilidade às plantas, um solo com maiores conteúdos de argila e/ou matéria orgânica (maior tamponamento) dispõe de uma reserva capaz de garantir o suprimento de água e nutrientes por muito mais tempo que um solo arenoso e desprovido de matéria orgânica (menor tamponamento). O fato de a proporção de argila não ser passível de alteração pelo produtor realça a necessidade de se adotar práticas de manejo de solo e das culturas que assegurem maiores teores de matéria orgânica ao longo do tempo, principal caminho para manter ambientes de alto potencial produtivo. Se o produtor conseguir aumentar o teor de matéria orgânica, estará expandindo a capacidade de reserva do seu solo, e poderá até incrementar seu investimento em adubação para elevar os estoques de nutrientes, sustentando a conquista de novos tetos produtivos ou a demanda dos cultivos por mais safras, ao mesmo tempo em que reduz o risco de perdas de nutrientes e água do sistema.

O SPD de longa duração, com combinação mais diversificada de culturas e plantas de cobertura, caracterizando a intensificação ecológica do sistema de produção, favorece maior produção de biomassa (palhada), requisito básico base para se “construir” MOS, fortalecendo as qualidades de tamponamento, resiliência e estabilidade nos solos de fertilidade construída. Do contrário, a simples repetição de cultivos em sucessão (soja/milho safrinha, soja/trigo), assim como o monocultivo, provoca a degradação física, química e biológica do solo, além de acentuar a vulnerabilidade da propriedade agrícola às instabilidades econômicas e climáticas (Resende et al., 2016a).

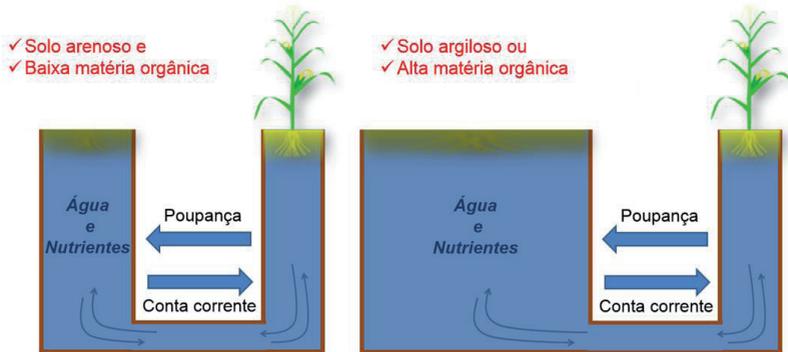


Figura 2. Os solos funcionam como “contas bancárias”, que guardam a capacidade de suprimento de nutrientes e água às plantas. Para um mesmo saldo na “conta corrente”, que atende às necessidades imediatas (consumo das plantas), solos diferentes apresentam reserva menor (solo da esquerda) ou maior (solo da direita), variando o tamanho da “poupança” existente por trás do saldo disponível. A matéria orgânica é o componente dessa poupança que pode ser manejado pelo produtor.

A diversidade de combinações de sistemas em rotação, sucessão e consórcio amplia as opções de uso múltiplo de certas espécies vegetais. No sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) na região do Cerrado, por exemplo, o consórcio de culturas produtoras de grãos com forrageiras tropicais fornece alimento para a pecuária a partir do final do verão até o início da primavera e forma palhada para o cultivo de grãos em SPD na safra seguinte (Borghi et al., 2013). Forrageiras dos gêneros *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e *Megathirsus* (Syn. *Panicum*) são apropriadas para regiões com restrição de chuvas, pois possuem sistema radicular profundo e maior tolerância à deficiência hídrica, desenvolvendo-se em situações

nas quais a maioria das espécies de safrinha não resistiria. Em muitas áreas, a inclusão dessas gramíneas em consórcios com culturas de grãos (milho e soja) visa a produção de palhada para o SPD e, em alguns casos, também auxilia no controle de determinados patógenos de solo (por exemplo, mofo branco) e plantas daninhas (por exemplo, buva). Qualquer das modalidades citadas representa uma alternativa para o produtor do Cerrado que busca incrementar a formação de MOS em suas áreas de cultivo.

Reposição de Nutrientes em Solos de Fertilidade Construída

Teores mais altos de MOS em áreas sob SPD são associados a maiores aportes anuais de resíduos fontes de carbono (Sá et al., 2015), preferencialmente acima de 10 t ha⁻¹ de matéria seca ao ano. Entretanto, a conversão desses resíduos em MOS depende também da existência de perfis enriquecidos com Ca e P (Briedis et al., 2016; Inagaki et al., 2016), e em especial com N oriundo da inserção de espécies leguminosas como plantas de cobertura (Zotarelli et al., 2012; Urquiaga et al., 2014). Assim sendo, a reposição de todos esses nutrientes de acordo com a sua exportação pelas colheitas no decorrer das safras, além de necessária ao equilíbrio nutricional das lavouras, também é muito importante para preservar a dinâmica de recomposição dos estoques de MOS. Eventuais carências de disponibilidade desses nutrientes acabam predispondo à degradação da fração orgânica do solo.

Considerando esse contexto, depreende-se que o cultivo do milho safrinha pode afetar o equilíbrio de nutrientes nos ambientes de produção e, por consequência, a sustentabilidade

do sistema, tanto no que diz respeito ao balanço nutricional quanto à conservação da MOS. Se por um lado o milho apresenta excelente capacidade de adição de carbono via palhada, por outro, pode extrair e exportar grandes quantidades de nutrientes, sobretudo de N (**Figura 3**).

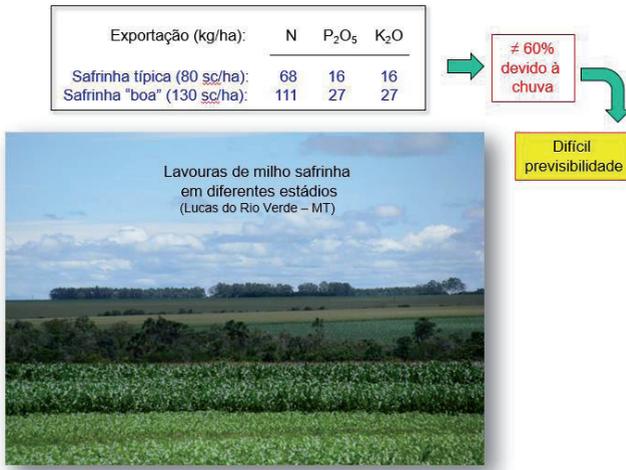


Figura 3. Lavouras de milho safrinha com diferentes potenciais produtivos, determinados principalmente pela época de semeadura, implicam níveis distintos de exportação de nutrientes, os quais precisam ser proporcionalmente repostos para preservar a produtividade do sistema de culturas como um todo.

O fato de o cultivo na safrinha se caracterizar por incertezas em relação à expectativa de produtividade, às respostas à adubação e aos valores de comercialização dos grãos frequentemente faz com que o suprimento de nutrientes ao milho seja relegado pelos produtores, principalmente quando a semeadura é realizada fora do período (“janela”) ideal (**Figura 4**). Essa conduta pode se tornar um complicador

porque, nos anos em que os fatores climáticos e fitossanitários são favoráveis, o milho safrinha, mesmo mal adubado, pode produzir muito nos solos de fertilidade construída e exportar nutrientes com intensidade (**Figura 3**). Se o produtor não atentar para a necessidade de restituir tudo o que foi exportado, o sistema será penalizado com uma baixa nas reservas de nutrientes, que dependendo da magnitude, pode inclusive comprometer os próprios cultivos subsequentes de soja.

Na **Figura 3** são mostradas estimativas de exportação equivalente de N, P_2O_5 e K_2O , calculadas a partir de dados médios do milho safrinha em Rio Verde-GO (Simão, 2016), dando ideia de como a remoção de nutrientes do sistema com as colheitas pode variar largamente em função do nível de produtividade alcançado. Numa mesma localidade, as produtividades na safrinha podem oscilar muito de um talhão para outro, à medida que se retarda a época de semeadura, por exemplo. Percebe-se que a exportação de N pode ser elevada, em quantidades bem superiores às que têm sido fornecidas na adubação de muitas lavouras, como evidenciado na **Figura 5**.

As **Figuras 4 e 5** permitem constatar a inexistência de padrões mais definidos de fornecimento de nutrientes para o milho safrinha em propriedades visitadas no Mato Grosso durante o Circuito Tecnológico – Etapa Milho 2015, realizado numa parceria Aprosoja/Embrapa/Imea. Em diversas situações, a gestão da fertilidade do solo parece incongruente com a visão de sustentabilidade do sistema de produção soja/milho safrinha pelo baixo nível de reposição dos nutrientes exportados pelo milho. Esse cenário provavelmente se repete em outras regiões produtoras de safrinha no País.

Mesmo sem consequências negativas perceptíveis num primeiro momento, reiterar um manejo nutricional precário no milho safrinha pode trazer prejuízos futuros ao produtor. A falta de equilíbrio entre entradas (adubação) e saídas (exportação) de nutrientes no sistema de culturas pode levar ao esgotamento das reservas existentes, revertendo a condição de fertilidade construída, inclusive por forçar a degradação da MOS (Urquiaga et al., 2014). A ausência ou o uso de doses subdimensionadas de N na adubação do milho safrinha pode levar à depleção dos estoques do nutriente no sistema, o que certamente modifica a atividade microbiana e a dinâmica da MOS. Nesse aspecto, embora nem sempre haja resposta econômica do milho safrinha à adubação nitrogenada, aportes de N são necessários para manter a funcionalidade do sistema envolvendo os componentes solo, matéria orgânica, microrganismos e plantas.

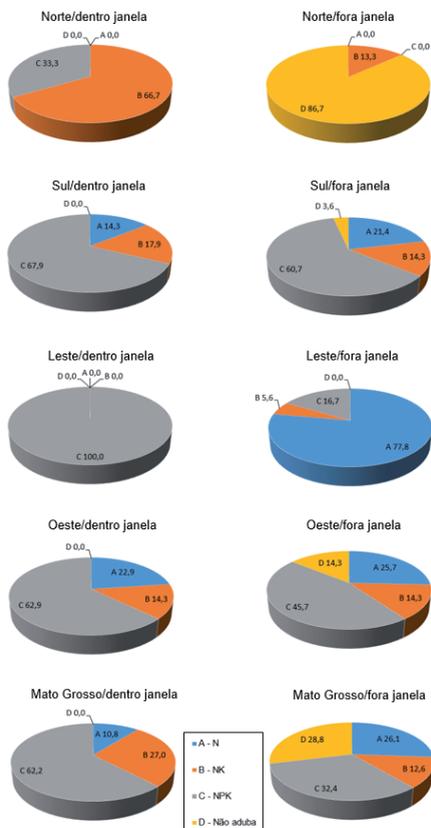


Figura 4. Distribuições de frequência (%) de níveis de investimento em adubação do milho safrinha, conforme a sementeira dentro ou fora da janela ideal, em regiões produtoras do Mato Grosso. Fonte: Resende et al. (2016b).

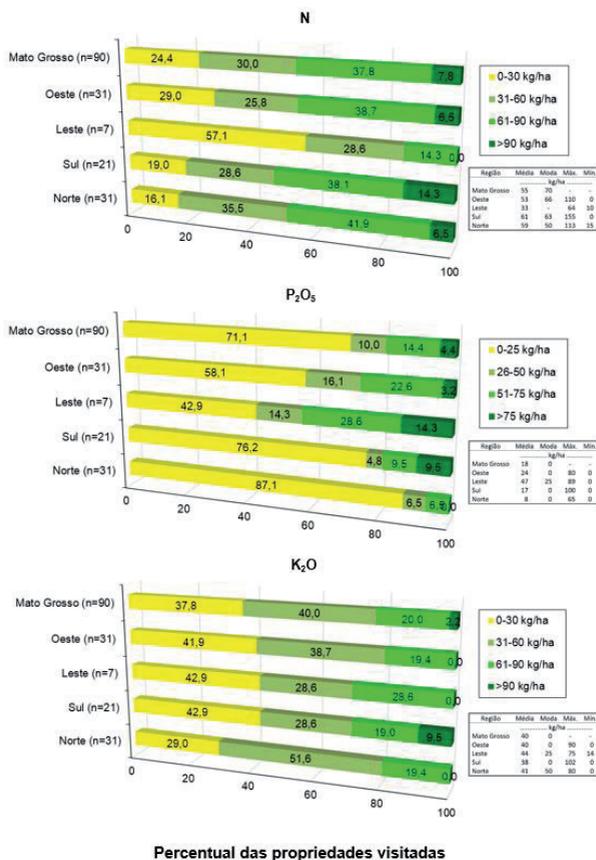


Figura 5. Distribuição de frequência (%) das doses de N, P₂O₅ e K₂O utilizadas na adubação do milho safrinha em regiões produtoras do Mato Grosso. Valores nas barras indicam o percentual de propriedades em cada intervalo de doses da adubação. Abaixo das legendas, são informados os valores médios, modais, máximos e mínimos obtidos no levantamento. Fonte: Resende et al. (2016b).

Considerações Finais

As condições químicas, físicas e biológicas alcançadas nos solos de fertilidade construída bem conduzidos dão suporte para os cultivos e o manejo nutricional visando alta produtividade, contribuindo para a estabilidade de produção do sistema de culturas ao amenizar problemas decorrentes de estresses climáticos e fitossanitários, bem como de eventuais falhas no manejo da adubação.

Os solos de fertilidade construída proporcionam flexibilidade quanto à época e modo de fornecimento de nutrientes, segundo a filosofia de adubação de sistema, tornando possível otimizar questões operacionais convenientes para a fazenda. Também podem ser parte da estratégia do produtor para lidar com momentos de cotações desfavoráveis para a compra de fertilizantes ou para a venda dos grãos, ao permitirem reduções temporárias nas taxas de adubação do sistema sem que isso incorra em perda de produtividade (Resende et al., 2016a).

Usufruir da poupança de nutrientes dos solos de fertilidade construída requer algum esforço para monitorar a evolução da fertilidade de forma frequente e aplicar conhecimento técnico para tomada de decisões. Como recompensa, tem-se a identificação de oportunidades para ganhos de eficiência no uso de fertilizantes e dos demais insumos, com melhor aproveitamento da oferta ambiental e maior retorno de todas as tecnologias investidas na lavoura.

Referências

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, cálcio e magnésio. In: SIMPÓSIO SOBRE BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: anais**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 2, p. 133-204.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 629-636, 2013.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; TIVET, F.; FERREIRA, A. O.; FRANCHINI, J. C.; SCHIMIGUEL, R.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z. Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **Catena**, Amsterdam, v. 147, p. 638-649, 2016.

CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBSS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 45-63.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: UFRGS, 2004. 400 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras: séries históricas**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://>

www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos. Acesso em: 17 set. 2017.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. **Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

INAGAKI, T. M.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 231, p. 156-165, 2016.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. **Palestras...** Sete Lagoas: ABMS, 2014. p. 358-381.

PROCHNOW, L. I.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, V.; PAVINATO, P. S. Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 158, p. 1-5, 2017.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 285 p.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 156, p. 1-17, 2016a.

RESENDE, A. V.; SILVA, A. F.; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; SHIRATSUCHI, L. S.; PITTA, R. F.; FERREIRA, A. **Tomada de decisão quanto a adubação e manejo de nutrientes por agricultores do Mato Grosso**: dados do Circuito Tecnológico 2015. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016b. 30 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 203).

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L.; SÁ, M. F. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; CANALLI, L. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: SIMPÓSIO SOBRE BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES, 2009, Piracicaba. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: anais. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 1, p. 383-420.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, Chichester, v. 26, p. 531-543, 2015.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica

em solos da região de cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, p. 541-547, 1994.

SIMÃO, E. P. **Características agronômicas e nutrição do milho safrinha em função de épocas de semeadura e adubação**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2016.

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

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MARTINS, M. R.; BODDEY, R. M. A cultura de milho e seu impacto nas emissões de GEE no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPTÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. p. 61-71.

ZANCANARO, L.; KAPPES, C.; ONO, F. B.; VALENDORFF, J. D. P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; SEMLER, T. D. Adubação fosfatada no sulco de semeadura e em superfície. In: GALHARDI JÚNIOR, A.; POZZER, D. (Ed.). **Boletim de pesquisa 2015/2016: soja, algodão, milho**. Rondonópolis: Fundação MT, 2015. p. 96-113.

ZOTARELLI, L.; ZATORREA, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 132, p. 185-195, 2012.

Capítulo 6

Adubação de Sistemas Produtivos: Milho Safrinha e Soja

Aildson Pereira Duarte

Heitor Cantarella

Claudinei Kappes

Introdução

O milho safrinha é definido como o milho sequeiro semeado na segunda safra, em sucessão de culturas e, a partir de 2012, é a modalidade de cultivo mais importante no Brasil. A cultura antecessora é a soja em mais de 95% das lavouras.

O aumento da produção do milho safrinha ocorreu em razão do aumento de área, especialmente nos chapadões do Centro-Oeste, Norte e Nordeste brasileiro, e da produtividade em todas as regiões produtoras. O aperfeiçoamento dos sistemas de produção de soja e milho safrinha viabilizou a antecipação das operações simultâneas de colheita e semeadura destas culturas, melhorando o potencial produtivo e reduzindo o risco de perdas do milho safrinha por adversidades climáticas, sem comprometer a produtividade da soja, ampliando as áreas aptas ao seu cultivo. Destaca-se o lançamento de cultivares precoces de soja adaptadas às semeaduras do início de outubro e a adoção do sistema plantio direto, por proporcionar redução do tempo entre a colheita da soja e a semeadura do milho.

A visão sistemática incluiu também a adubação da sucessão de culturas. O aproveitamento dos resíduos culturais e da adubação da soja é um dos principais motivos do sucesso do milho safrinha, pela necessidade de menor investimento em adubação comparado ao milho verão. Mas, desde o início do desenvolvimento de tecnologias apropriadas para esta modalidade de cultivo, ficou evidente que os resíduos não eram suficientes para atender toda a demanda por nutrientes no início do desenvolvimento das plantas (Cantarella & Duarte, 1995). Assim, os agricultores passaram a utilizar adubações NPK no sulco de semeadura, no entanto, com a evolução da cultura, não aumentaram as doses de maneira proporcional ao da sua produtividade, não repondo toda a exportação de nutrientes do milho safrinha e/ou do sistema produtivo.

Por outro lado, o processo de adubação foi ajustado à realidade das novas regiões produtoras, sobretudo os chapadões, aplicando-se os fertilizantes a lanço e o nutriente fósforo apenas na soja. Na maioria das propriedades, as áreas são muito grandes, os solos frequentemente muito úmidos durante a implantação do milho safrinha e as estruturas operacionais não atendem, sem atraso, à demanda da operação conjunta de semeadura e adubação no sulco. Prioriza-se o emprego de implementos agrícolas de fácil abastecimento e com elevado rendimento operacional.

O objetivo deste texto é indicar possíveis melhorias na adubação para aumentar a produtividade e a rentabilidade do milho safrinha, em regiões novas e tradicionais, contemplando as duas culturas do sistema produtivo.

Ambientes de Produção, Potencial Produtivo e Arranque Inicial

O clima não favorece a expressão máxima do potencial genético da cultura de milho safrinha, em decorrência, principalmente, de poucas horas de insolação direta, estresses hídricos e, na região Centro-Sul, de baixas temperaturas. A insolação direta é relativamente baixa porque a duração dos dias no inverno é menor que 12 horas e pela elevada nebulosidade, especialmente nas regiões tradicionais de cultivo, que estão próximas ou abaixo do paralelo 22. Em Campinas (22° 54' S), por exemplo, o número médio mensal de horas de insolação direta é, no máximo, 7,5 horas (Duarte & Kappes, 2015).

A cultura é desenvolvida em ambientes com elevada frequência de estresse hídrico e, ao sul do paralelo 22, de estresse pelo frio, incluindo geadas (Duarte, 2004). Na maioria das regiões produtoras, as chuvas tendem a ser abundantes no período de implantação do milho safrinha, que ocorre nos meses de janeiro a março. Depois, podem ocorrer veranicos durante a fase vegetativa com posterior retomada da precipitação pluvial, condição frequente na região tradicional, e ausência quase total das chuvas a partir de abril ou maio, nas regiões dos chapadões. Por isso, é importante que as plantas tenham arranque inicial vigoroso para suportar os estresses nos estádios seguintes.

E muito comum o arranque inicial pouco vigoroso e a presença de plantas sem espigas ("dominadas") e/ou espigas pequenas ou malformadas (grãos ausentes ou leves na ponta do sabugo). A falta de uniformidade pode ocorrer desde a emergência

das plantas e, frequentemente, é atribuída a problemas na qualidade nas sementes e/ou operação de semeadura. Embora seja pouco mencionado, uma das possíveis causas pode ser o manejo inadequado da adubação, por não proporcionar o arranque vigoroso de todas as plantas. Por exemplo, o efeito salino da adubação com potássio no sulco e a deficiência de nitrogênio quando toda a adubação é aplicada em cobertura a lanço, depois da emergência das plantas, comuns no Mato Grosso e em estados limítrofes.

Concentração de Nutrientes em Grãos de Milho

Os critérios mais importantes para a recomendação de fertilizantes nas culturas são a fertilidade do solo, a partir dos resultados da análise química, e a reposição dos nutrientes exportados pelas colheitas, evitando assim o empobrecimento do solo. Para o seu cálculo é imprescindível o conhecimento da concentração dos nutrientes e da produtividade das culturas.

O nitrogênio é o nutriente mais acumulado pelas plantas e exportado nos grãos na cultura do milho. Geralmente, a ordem das concentrações de nutrientes nos grãos é a seguinte: $N > K > P > Mg > S$, em $g\ kg^{-1}$, e $Ca > Zn > Fe > Mn > B > Cu$, em $mg\ kg^{-1}$.

Os valores de referência das concentrações de nutrientes no milho são os mesmos há mais de 20 anos (Raij et al., 1996; Cantarella & Duarte, 2004), a despeito do aumento da produtividade, da evolução das cultivares e da diferenciação dos sistemas produtivos, especialmente com a introdução da safrinha e a ampla adoção do sistema plantio direto.

Os resultados recentes sobre as concentrações de nutrientes nos grãos indicam uma possível redução na sua concentração (Resende et al., 2012). Os presentes autores e colaboradores estudaram as concentrações de nutrientes nos grãos de milho, em 197 amostras de 41 genótipos, oriundas de diferentes regiões produtoras, na safra de verão e safrinha, e verificaram que os valores de referência estão superestimando a concentração e, conseqüentemente, a exportação de N, P, K, S, Ca, Mg e Zn, e subestimando as de Cu e B no milho. Sugere-se a redução nos valores de fósforo, passando de 9,2 para 6,0 kg de P_2O_5 por tonelada de grãos, e de potássio, de 6,0 para 4,5 kg de K_2O (**Tabela 1**).

Tabela 1. Sugestão de novas referências da concentração de nutrientes em grãos para o cálculo da exportação pela cultura do milho.

| N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | Cu | Zn | B |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|----|----|-----|----|---|
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | | | | ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| 14,0 | 2,6 | 3,7 | 0,1 | 1,1 | 1,0 | 15 | 5 | 2,0 | 18 | 5 |

Nitrogênio

O nitrogênio tem o manejo bastante complexo pela dificuldade em avaliar sua disponibilidade no solo por causa das múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por microrganismos e afetadas por fatores climáticos de difícil previsão.

Nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho a demanda por nutrientes é grande e o sistema radicular ainda é pequeno, explorando poucos centímetros de solo ao redor das plântulas recém-emergidas. O estágio de cinco folhas é crítico, pois é

quando tem início a diferenciação floral (Fancelli & Dourado Neto, 2000), e ocorre muito cedo, cerca de três semanas após a semeadura. Acrescenta-se que, do total acumulado pelo milho, entre 60 e 70% do nitrogênio e entre 65 e 85% do potássio são absorvidos até o florescimento, que corresponde à metade da duração do ciclo da cultura (Cantarella & Duarte, 2004).

Os fertilizantes são aplicados preferencialmente na semeadura, pelos fatores já mencionados. Porém, no caso do nitrogênio, o parcelamento na semeadura e em cobertura permite, de maneira geral, maior eficiência de uso do nutriente proveniente do fertilizante. As aplicações parceladas são feitas em épocas que coincidem com a maior demanda pelas plantas, pois ocorrem perdas do nitrogênio por lixiviação no perfil do solo. No momento da cobertura, o sistema radicular está crescendo rapidamente e explorando maior volume de solo.

Evolução da Adubação Nitrogenada no Milho Safrinha

O milho safrinha se beneficia do nitrogênio presente nos restos culturais da soja, mas não se conhece bem quanto do nutriente fica disponível para este cereal, o que dificulta o cálculo do crédito de nitrogênio na adubação nitrogenada do milho. Existem variações na própria eficiência do processo simbiótico e na proporção de grãos na massa total da parte aérea da soja, bem como nas condições para a mineralização da matéria orgânica e liberação do N no solo. Estima-se que ficam para o milho em sucessão cerca de 17 kg de N para cada tonelada de soja, ou seja, 61 kg ha⁻¹ de N quando se produz 3,6 t ha⁻¹ de soja, o que não é suficiente para suprir a exportação deste nutriente na maioria das lavouras de milho safrinha.

Os primeiros experimentos em rede sobre adubação do milho safrinha foram conduzidos pelo Instituto Agrônômico (IAC), na região paulista do Médio Paranapanema, no período 1993 a 1995. Verificou-se que o parcelamento do N com 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura, antiga adubação padrão, poderia ser aumentada para 30 kg ha⁻¹ na semeadura (Cantarella & Duarte, 1995). O emprego de 30 kg ha⁻¹ na semeadura, juntamente com o fósforo e o potássio no sulco de semeadura (exemplos: fórmulas NPK 13-13-13, 16-16-16 e 16-18-14+S), evita as incertezas de haver ou não umidade no solo no momento em que deveria ser feita a cobertura, o que poderia levar a deficiência nas plantas pelo fato de não fazer ou pela sua baixa eficiência.

Com o aumento da produtividade e ampliação da área de cultivo do milho safrinha, implantou-se nova rede de experimentos em diferentes regiões produtoras, para atualizar as informações sobre o manejo da adubação. Verificou-se, ao aplicar aproximadamente 27 kg ha⁻¹ de N no sulco de semeadura, em sucessão a soja e solos argilosos, que a frequência de resposta ao N em cobertura é muito baixa até produtividades de 6 t ha⁻¹ (Duarte et al., 2011). No entanto, para suplantarmos este patamar produtivo é fundamental complementar a adubação de semeadura com N em cobertura em doses compatíveis com o regime hídrico regional e a produtividade esperada.

Quando e Quanto Aplicar

A omissão do nitrogênio na semeadura com aplicação de todo o fertilizante de cobertura pode acarretar prejuízos. Duarte e Kappes (2015), ao estudarem o efeito da adubação de cobertura em São Paulo e Mato Grosso, no estágio de cinco a seis folhas,

na presença e ausência de 39 kg ha^{-1} de N na semeadura (**Figuras 1 e 2**), verificaram que a omissão de nitrogênio na semeadura reduziu o potencial produtivo da cultura e a eficiência da adubação nitrogenada. Nas regiões onde o milho safrinha é cultivado sem nitrogênio na semeadura, como nos chapadões, a simples antecipação da adubação nitrogenada a lanço para o momento da semeadura pode aumentar substancialmente a rentabilidade da cultura.

Como já mencionado, pode-se aplicar o nitrogênio na semeadura para melhorar o arranque das plantas. Mas qual é a dose máxima que se pode aplicar na semeadura? A resposta depende principalmente dos seguintes fatores: a) o modo de aplicação - no sulco ou a lanço; b) do espaçamento entre linhas; e c) da textura do solo. Doses elevadas aplicadas no sulco de semeadura podem provocar efeito salino e comprometer o desenvolvimento inicial de parte das plantas e, em casos extremos, o estande. De maneira geral, a soma das doses de N e de K_2O no sulco de semeadura não deve ultrapassar 80 kg ha^{-1} , principalmente se o formulado contiver também sulfato e/ou o espaçamento entre linhas for entre 80 e 90 cm. Em espaçamentos reduzidos, por exemplo, 45 a 50 cm, a quantidade de fertilizante distribuída por metro linear no sulco de semeadura é menor, pois ocorre distribuição em maior número de linhas.

Quanto mais seco ou frio for o inverno da região, maior a proporção de lavouras semeadas no final de janeiro e início de fevereiro e, conseqüentemente, maior a chance de perdas de N por lixiviação por excedentes hídricos. Assim, para atingir altas produtividades, é fundamental o seu parcelamento na semeadura e em cobertura. Por outro lado, a adubação de

cobertura pode ser pouca efetiva quando feita com solo seco e as chuvas demoram vários dias, mesmo quando aplicada no estádio teoricamente correto, que seria no milho verão, até cinco folhas completamente expandidas quando realizada em única vez.

Doses

Em condições tropicais não é possível prever a resposta das culturas ao nitrogênio a partir da análise de solo. A recomendação de adubação é feita considerando-se o histórico de culturas na área, que no caso do milho safrinha é quase sempre a soja, na textura do solo e na demanda de nutrientes pelas plantas, estimada a partir da produtividade, e os resultados de experimentos de resposta da cultura aos fertilizantes. A extração e a exportação dos nutrientes são proporcionais ao potencial produtivo.

O histórico de uso auxilia a previsão da resposta do milho ao nitrogênio, mas quando ocorrem excessos hídricos (maiores perdas por lixiviação) a resposta ao N pode ser acentuada independentemente da(s) espécie(s) já cultivada(s) na área. Por outro lado, verificou-se, em milho verão, que a dose recomendada continua proporcionando retorno econômico próximo ao máximo quando a produtividade for inferior a esperada em razão da deficiência de água no solo (Cantarella et al., 2005), provavelmente, por causa da menor mineralização da matéria orgânica.

Tomando como referência que a extração e exportação dos nutrientes são proporcionais à produtividade de grãos, o Boletim 100 IAC (**Tabela 2**) recomenda cerca de 1 kg ha⁻¹ de

N por saco de milho produzido por hectare, em ambientes de alta resposta ao nitrogênio (solo arenoso e/ou histórico de gramíneas nos dois cultivos anteriores). Para uma produtividade de grãos de 12 toneladas por hectare são extraídos pela planta mais de 300 kg ha⁻¹ de N do solo (Duarte, 2003), exportados 170 kg ha⁻¹ e recomendados próximo de 200 kg ha⁻¹ de N. Já para condições de menor resposta (SPD consolidado e histórico de leguminosas), a quantidade de N recomendada pode ser reduzida em mais de 40%. Para uma produtividade de 9 t ha⁻¹ de milho safrinha, após soja em solo argiloso, estima-se uma exportação de 112 kg ha⁻¹ e recomenda-se 90 kg ha⁻¹, ou seja, o uso de 10 kg de N para cada tonelada de milho, ambos por hectare.

As tabelas de recomendação de fertilizantes levam em consideração a relação histórica entre o preço do milho e o custo do fertilizante que, no caso do N, está próxima de 12. Esta relação diminuiu recentemente, diante da queda consistente dos preços dos fertilizantes nitrogenados no mercado internacional e nacional, com ressalva quanto a grande variabilidade dos preços do milho entre anos e regiões produtoras brasileiras. Assim, para a estimativa da dose econômica em lavouras de milho safrinha com potencial superior a 6 t ha⁻¹, pode-se aumentar a adubação nitrogenada para valores de até 12 kg ha⁻¹ por t ha⁻¹ de milho esperada na área.

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

| Produtividade de grãos (t ha ⁻¹) | Classe de resposta a nitrogênio ⁽¹⁾ | | |
|--|--|-------|-------|
| | Alta | Média | Baixa |
| | ----- N (kg ha ⁻¹) ----- | | |
| < 6 | 90 | 60 | 30 |
| 6-8 | 120 | 90 | 60 |
| 8-10 | 160 | 120 | 90 |
| 10-12 | 200 | 140 | 110 |
| >12 | 220 | 160 | 130 |

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

Alta resposta esperada: solos corrigidos, com muitos anos de plantio contínuo de milho ou outras culturas não leguminosas; primeiros anos de plantio direto; grande quantidade de resíduos de gramíneas; solos arenosos sujeitos a altas perdas por lixiviação;

Média resposta esperada: solos ácidos, que serão corrigidos, ou com plantio anterior esporádico de leguminosas; solo em pousio por um ano, ou uso de quantidades moderadas de adubos orgânicos;

Baixa resposta esperada: solo em pousio por dois ou mais anos, cultivo intenso de leguminosas ou plantio de adubos verdes antes do milho; plantio direto estabilizado em rotação com leguminosas; uso constante de quantidades elevadas de adubos orgânicos.

Acrescenta-se que quando se emprega pouco N e a produtividade do milho é elevada, pode haver resposta da soja cultivada em sucessão à adubação nitrogenada, pois aumenta a exportação dos nutrientes e a imobilização de N e S no solo

para a decomposição dos restos culturais do milho (palha com elevadas relações C/N e C/S). Equivocadamente, em vez de adubar adequadamente o milho, alguns agricultores estão utilizando fertilizantes com nitrogênio na cultura da soja.

É importante mencionar que as recomendações de doses de N são feitas tomando-se como referência uma fonte que apresenta perdas por volatilização desprezíveis. Assim, deve-se aumentar a dose para compensar as possíveis perdas por volatilização quando a fonte é a ureia e o modo de aplicação é lanço em área total, sem enterrá-la em sulco com recobrimento simultâneo.

Modo de Aplicação e Tipos de Fertilizantes

Um dos pontos críticos da adubação de cobertura é o modo de aplicação e o tipo de fertilizante nitrogenado. Com a adoção do espaçamento reduzido, é frequente a aplicação do nitrogênio a lanço na superfície do solo sob sistema plantio direto, por ser difícil sua incorporação. Nestas condições, a ureia pode ter grandes perdas de N por volatilização de amônia, que podem atingir valores próximos ou até superiores a 40% do N aplicado, em razão da maior atividade da urease nos resíduos vegetais. É necessário aumentar a dose ou misturá-la com inibidores químicos para compensar ou minimizar as perdas, respectivamente.

A ureia é preferida para aplicação em cobertura por causa da maior disponibilidade, do menor preço e da facilidade de aplicação, mas o nitrato de amônio e o sulfato de amônio também têm sido utilizados por não apresentar perdas de N quando aplicados na superfície sem enterrar. O sulfato fornece

concomitantemente nitrogênio e enxofre, mas evita-se sua indicação para aplicação a lanço em área total por queimar as folhas do milho, assim como o nitrato de baixa qualidade física, com pó no meio dos grânulos, que também pode causar injúrias nas folhas, principalmente quando úmidas.

No espaçamento convencional (80 e 90 cm), quando a aplicação é feita a lanço na semeadura ou em cobertura precoce, como as raízes ainda não ocupam a área da entrelinha, parte do N fica longe das raízes do milho e não é aproveitado imediatamente. Nestas condições o uso do N pode ser pouco eficiente com deficiência nos estádios iniciais.

Parcelamento da Aplicação

Parte do nitrogênio precisa ser aplicada obrigatoriamente por ocasião da semeadura, em doses de 30 a 40 kg ha⁻¹ de N, pois a absorção de nutrientes ocorre rapidamente durante as primeiras fases do ciclo das plantas de milho. Esta dose pode ser um pouco maior quando a aplicação é feita a lanço ou no próprio sulco em espaçamentos reduzidos. O restante do N é aplicado em cobertura, evitando excesso de sais no sulco de semeadura e, principalmente, perdas de N por lixiviação de nitrato.

A cobertura não pode ser feita tardiamente porque a diferenciação floral tem início quando a planta está com a 5ª folha expandida; no estágio de 7 a 8 folhas ocorre a definição do número de linhas de grãos na espiga e, por volta da 12ª folha, o tamanho da espiga é determinado (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

A lixiviação é maior em solos arenosos do que em solos argilosos, em razão do aumento do risco de perdas do nitrogênio aplicado na semeadura antes da absorção pelas raízes. Assim, em lavouras de milho safrinha implantadas em solos de textura média, é muito importante o parcelamento do nitrogênio em cobertura.

No milho safrinha, o parcelamento do nitrogênio em mais de uma cobertura é recomendado apenas em situações especiais, visto que a dose total é relativamente baixa, inferior a 100 kg ha⁻¹ em quase totalidade das lavouras, sendo parte já utilizada na semeadura, pelo menos 30 kg ha⁻¹. A qualidade da distribuição de doses baixas dos fertilizantes a lanço em área total é um dos pontos críticos da realização de mais de uma adubação de cobertura no milho safrinha. É importante mencionar que quando se aduba com menos de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, pode-se antecipar a única aplicação de cobertura para antes do estágio de 5 folhas. Em milho verão é comum recomendar mais de uma adubação de cobertura por causa do alto potencial produtivo e o maior risco de lixiviação, principalmente em solos de textura arenosa, sob irrigação e em híbridos com maior “stay green”.

Potássio, Fósforo e Enxofre

O potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais acumulados pela parte aérea do milho, mas o potássio apresenta a maior proporção de acúmulo nos estádios iniciais, em relação ao total acumulado. Karlen et al. (1987) verificaram que, no florescimento, o acúmulo de N, P e K foi 60%, 46% e 80% do acúmulo máximo, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos recentemente por Bender et al. (2013).

O potássio tem sido parcelado em cobertura no milho verão, para evitar possível efeito salino, quando os fertilizantes NPK são aplicados no sulco de semeadura. Mas, no caso do milho safrinha, quando as doses recomendadas forem relativamente baixas, a sua aplicação pode ser feita apenas no sulco de semeadura. No caso de lavouras com adubação exclusivamente a lanço, considerando que o potássio é o nutriente acumulado em maior quantidade nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas de milho, a sua aplicação a lanço de maneira isolada ou em fórmulas NPK como 20-00-20 deve ser feita o mais cedo possível.

Se não houver umidade adequada no solo para que imediatamente parte do potássio aplicado na superfície se movimente e seja absorvido pelas raízes, o efeito desta adubação sobre a produtividade da cultura pode ser pouco expressivo ou nulo. Uma das opções é priorizar a aplicação do potássio na cultura da soja e reduzir as doses no milho safrinha.

No planejamento da adubação não se deve considerar apenas o milho, mas a sucessão de culturas de milho e soja. Em solos com acidez corrigida e teores de fósforo e potássio acima do nível crítico (solos de fertilidade construída), a recomendação da adubação pode ser feita por ano agrícola, e não exclusivamente para cada cultura, utilizando como referência a reposição dos nutrientes exportados pelos grãos. Porém, a adubação de sistemas não se deve restringir exclusivamente aos critérios do balanço de nutrientes e da facilidade operacional, mesmo em solos de fertilidade construída.

Na maioria das lavouras dos chapadões é comum aplicar todo o fósforo (e às vezes enxofre) a lanço na pré-semeadura da soja

e apenas nitrogênio e potássio no milho safrinha. Neste caso, o balanço nutricional do sistema é positivo, mas se deixa de aplicar o fósforo no milho safrinha.

Estudos realizados pelo IAC e Fundação MT revelaram o efeito de arranque da adubação fosfatada no milho safrinha, associado ao nitrogênio e enxofre, aumentando sua produtividade, sem prejuízo na soja em sucessão, onde o fósforo deixou de ser aplicado parcialmente ou totalmente (**Figuras 1, 2 e 3**). A associação de P e PS ao nitrogênio, comparado à aplicação exclusiva do N, proporcionou os maiores valores de produtividade e/ou de ganhos de eficiência da adubação nitrogenada de cobertura, em termos de kg de milho por K de N. Este efeito aconteceu tanto na adubação a lanço como no sulco de semeadura. Porém, não foi tão evidente em ambientes com teor de fósforo muito alto (próximo ou superior a duas vezes o valor do nível crítico).

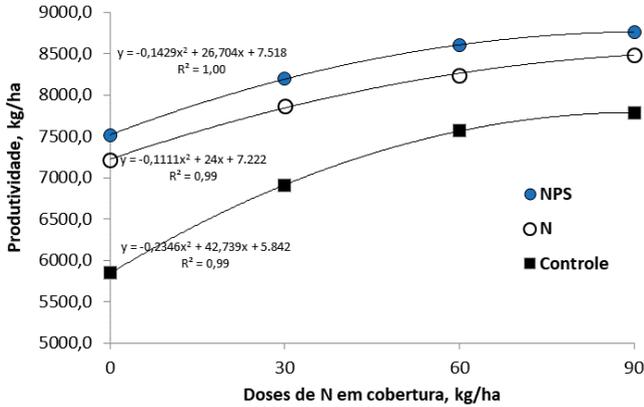


Figura 1. Resposta do milho safrinha 2B587 PW ao nitrogênio em cobertura no estágio de cinco folhas, sem nitrogênio e com aplicação de N (39 kg ha^{-1}) e NPS (39 kg ha^{-1} de N, 99 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 23 kg ha^{-1} de S-SO_4) na semeadura da cultura no Estado Mato Grosso (Média dos locais: Sapezal – 4 anos, Itiquira – 4 anos e Deciolândia – 3 anos, e dos modos: a lanço e sulco).
Fonte: Duarte e Kappes (2017).

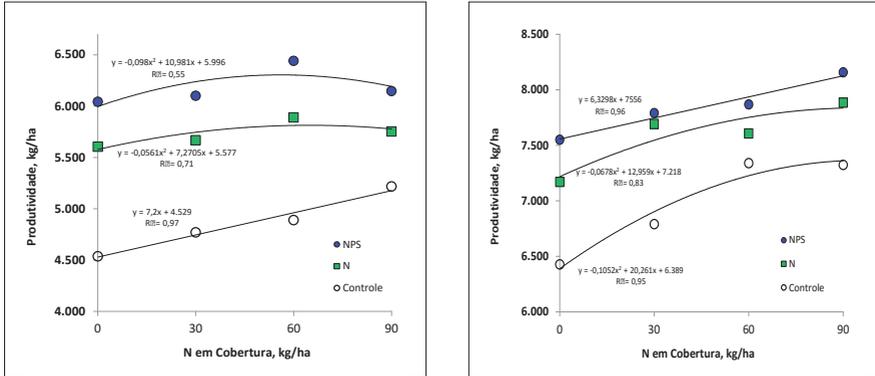


Figura 2. Resposta do milho safrinha 2B587 PW ao nitrogênio em cobertura no estágio de cinco folhas, sem nitrogênio e com aplicação de N (39 kg ha⁻¹) e NPS (39 kg ha⁻¹ de N, 99 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 23 kg ha⁻¹ de S-SO₄) na semeadura em Palmital (3 anos) – lado esquerdo, e Pedrinhas Paulista (4 anos) – lado direito, Estado de São Paulo (Média dos modos: a lanço e sulco). Fonte: Banco de dados do IAC.

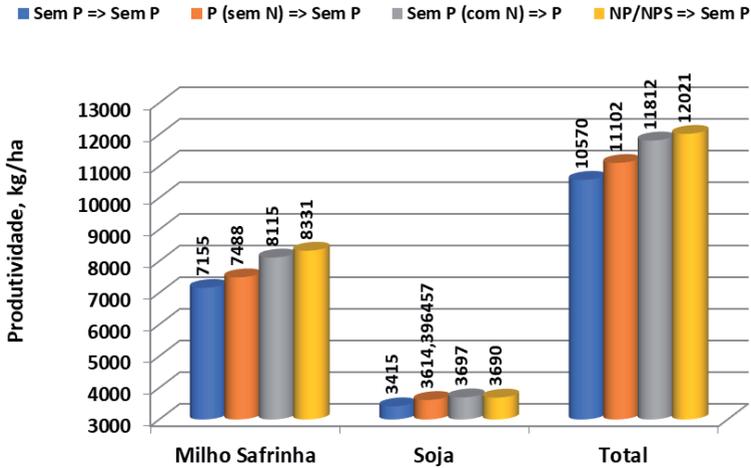


Figura 3. Produtividade média do milho safrinha e da soja e total do sistema de sucessão, em função da época de aplicação de nitrogênio, fósforo e fósforo mais enxofre no milho safrinha em Mato Grosso. A sequência dos tratamentos corresponde às adubações realizadas nas culturas de milho safrinha e soja com 39 kg ha^{-1} de N, 99 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 23 kg ha^{-1} de S-SO_4 . (Média de Sapezal – 4 anos, Itiquira – 4 anos e Deciolândia – 3 anos, 4 doses de N em cobertura: 0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1} e 2 modos de aplicação: lanço e sulco) Fonte: Banco de dados da Fundação MT.

O ideal quando se deseja adotar a prática de adubação de sistema é que o fósforo seja aplicado no milho safrinha e complementado na semeadura da soja, exceto em solos com teor muito alto de fósforo. Ao utilizar nutrientes e dosagens adequadas no milho safrinha, estes também ficarão disponíveis no sistema para a soja, que será semeada em outubro e novembro, melhorando a rentabilidade e o desempenho das culturas no sistema.

No mesmo estudo, verificou-se também baixa frequência de resposta ao potássio na cultura do milho safrinha, não obstante o seu elevado acúmulo na parte aérea da planta. Assim, em solos argilosos, com teor alto de potássio, planos e sem manchas, pode-se retirar a aplicação de potássio da cultura do milho safrinha, e aplicar a quantidade exportada pelo milho juntamente com o potássio da soja, sendo toda a aplicação feita na soja. Em outras situações, não se deve omitir o K no milho.

É bom lembrar que os cálculos das exportações de NPS no milho safrinha devem ser feitos com os valores atualizados da concentração de nutrientes nos grãos, conforme mencionado anteriormente, para evitar estimativas maiores que a necessidade de reposição destes nutrientes.

Considerações Finais

A sustentabilidade da sucessão soja e milho safrinha, em termos econômicos e de manutenção da fertilidade do solo, depende do melhor manejo das adubações, e não simplesmente da contabilidade anual de entradas e saídas de nutrientes do sistema.

A época de aplicação de cada nutriente é o fator mais crítico. Nas regiões tradicionais é importante o aumento das doses de determinados nutrientes em razão do aumento contínuo da produtividade e, nos chapadões de Mato Grosso e estados limítrofes, a adoção da adubação nitrogenada de semeadura, em associação com fósforo ou fósforo mais enxofre, tanto no sulco como a lanço.

É fundamental retomar o embasamento das recomendações de fertilizantes em resultados de análises de solo. Na maioria das vezes, são utilizadas fórmulas, NPK, NPKS, NK e NKS fixas ou matérias-primas pré-definidas por região em toda a propriedade, variando apenas as doses. Embora o milho safrinha seja cultivado em áreas de “fertilidade construída”, existe grande variabilidade na fertilidade dos solos entre propriedades e talhões.

Referências

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 161-170, 2013.

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

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.

(Ed.). **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 139-182.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P.; ANDRADE, C. A. Manejo do nitrogênio e da matéria orgânica em milho no sistema plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: tecnologia & produção**. Piracicaba: ESALQ, 2005. p. 59-82.

DUARTE, A. P. Milho safrinha: características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 109-138.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H. Adubação em sistemas de produção de soja e milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 9., 2007, Dourados, MS. **Resumos...** Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p. 44-61. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 89).

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Milho "safrinha". In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo: Fundação IAC, 1996. p. 60-61.

DUARTE, A. P.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G.; COSTA, A.; FRANCISCO, E.; PIEDADE, R. C.; ARF, M. V. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho safrinha após soja no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA 11., 2011, Lucas do Rio Verde. **Anais...** Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2011. p. 367-374.

DUARTE, A. P.; KAPPES, C. Doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha, fontes e modos de aplicação de fósforo em sistema de sucessão com soja no Estado do Mato Grosso. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 14., Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Fundação MT, 2016.

DUARTE, A. P.; KAPPES, C. Evolução dos sistemas de cultivo de milho no Brasil. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 152, p. 15-18, 2015.

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

KARLEN, D. L.; SADLER, E. J.; CAMP, C. R. Dry matter, nitrogen, phosphorus, and potassium accumulation rates by corn on Norfolk Loamy Sand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 649-656, 1987.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; SANTOS, F. C.; LACERDA, J. J. **Fertilidade do solo e manejo da adubação NPK para alta produtividade de milho no Brasil Central**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 181).

Capítulo 7

Enfezamentos e Viroses no Milho

Elizabeth de Oliveira Sabato

Introdução

Entre os fatores que garantem a boa produtividade do milho, destaca-se a boa qualidade sanitária das plantas. Muitas doenças podem afetar a produção de forragem, de sementes, de grãos, e a qualidade das espigas verdes para a indústria e o consumo in natura do milho, entre elas, enfezamentos e viroses, doenças sistêmicas, cujos agentes causais são transmitidos por insetos-vetores.

Principalmente em algumas regiões quentes do território nacional, onde o milho é cultivado em mais de uma safra ao ano, sendo safra e safrinha, ou de forma sucessiva, em áreas irrigadas, os enfezamentos causam perdas expressivas, quando ocorrem em surtos epidêmicos. Essas doenças causam redução variável na produtividade de lavouras, por serem variáveis os níveis de incidência de plantas individualmente atacadas.

Condições climáticas e práticas culturais podem favorecer ou restringir a incidência dos insetos-vetores e dos agentes causais dos enfezamentos e das viroses. A adoção de medidas para manejo do risco de alta incidência e danos por essas doenças requer conhecimento sobre aspectos epidemiológicos que favorecem a proliferação dos patógenos, dos insetos-vetores, e do desenvolvimento da doença na planta. Nenhuma medida isoladamente garante controle efetivo dos enfezamentos e das viroses do milho.

As medidas para manejo do risco incluem essencialmente práticas preventivas, e serão tanto mais efetivas quanto mais produtores adotarem essas práticas, na região.

A identificação precisa dos enfezamentos e das viroses é essencial, quando se pretende adotar práticas para escapar ou para minimizar a incidência dessas doenças em lavouras subsequentes.

Pretende-se nos tópicos seguintes caracterizar os sintomas que permitem o reconhecimento dos enfezamentos e das viroses do milho, analisar os fatores que têm contribuído para alta incidência, principalmente dos enfezamentos, e apresentar práticas alternativas para manejar o risco e minimizar danos por essas doenças.

Distribuição Espacial e Temporal do Cultivo do Milho e sua Importância na Incidência de Enfezamentos e Virose

O milho safrinha, ou de segunda safra, é semeado nos meses de janeiro até meados do mês de março, em diversas regiões do território nacional. O cultivo do milho safrinha

teve início na década de 1980, no Estado do Paraná, como opção de segunda safra após o cultivo da soja, ou do milho da safra de verão (Cruz et al., 2008). Até dias atuais a safrinha de milho continua expandindo-se nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, em áreas onde as condições climáticas de temperatura e de precipitação pluviométrica são adequadas para o desenvolvimento das plantas e a produção desse cereal (Agriannual, 2017).

Em algumas regiões do Brasil, há muita variação nas épocas e datas de semeadura, tanto do milho da safra de verão quanto do milho safrinha, seja em decorrência de atrasos na chuva, ou de conveniências de cada produtor, o que propicia sobreposições do ciclo da planta e, em consequência, migração de insetos, assim como transferência de agentes causais de doenças, dos cultivos mais velhos para os cultivos jovens. Dessa forma, as semeaduras tardias do milho, realizadas ao final do mês de novembro e no mês de dezembro, em localidades do centro-sul do Brasil, em geral apresentam maior incidência de enfezamentos e viroses, em decorrência do acúmulo de insetos-vetores e de inóculo dos patógenos, nos cultivos de milho anteriores, e da coincidência com condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dessas doenças (Oliveira et al., 2003; Oliveira & Oliveira, 2003; Almeida et al., 2001).

O cultivo do milho irrigado, particularmente nas regiões quentes do território nacional, permite obtenção de mais de uma safra desse cereal ao ano, independentemente do regime de chuvas, o que contribui para maior variação nas datas de semeaduras e sobreposições do ciclo da planta.

Estima-se a área total irrigada por meio de pivô, no território nacional, em 1.175 mil hectares, com intensa concentração na região oeste do Estado da Bahia, nas regiões do noroeste e triângulo do Estado de Minas Gerais, na região sudoeste, e em grande parte do Estado de Goiás, no norte e no centro-sul do Estado de São Paulo (Landau et al., 2015). Há carência de informação sobre a área total cultivada com milho irrigado por pivô, porém, em todas essas regiões, o milho inclui-se entre os cultivos irrigados, seja para a produção de sementes ou para a produção de grãos, sendo, frequentemente, semeado em mais de uma época ao ano, com sobreposições do ciclo das plantas.

A transferência de pragas entre plantas de um cultivo de milho para outro é maior, quando estes se encontram em proximidade uns dos outros e quando são propícias as condições climáticas que favorecem a proliferação dessas pragas. Esse processo permite, ao longo do tempo, acúmulo de inóculo de patógenos e de populações de insetos-praga, e de insetos-vetores.

Além disso, plantas de milho voluntárias, provenientes da germinação de grãos ou de sementes remanescentes de colheitas (milho tiguera, milho guacho) podem permitir a sobrevivência dessas pragas, servindo de fonte de inóculo desses agentes nocivos para cultivos subsequentes de milho.

Nos anos de 2015 e 2016, a área total cultivada com milho no Brasil ultrapassou 16 milhões de hectares (Agrianual, 2017). Registrou-se aumento expressivo da área de milho safrinha, com aumento de mais de dois milhões de hectares desde 2015, em relação a 2014, e crescimento anterior da ordem de quinhentos mil a um milhão de hectares ao ano, desde 2010. Simultaneamente, a primeira safra de milho sofreu redução de

cerca de sete para cinco milhões de hectares, nesse período de 2010 a 2015.

Esse acentuado e rápido crescimento da área cultivada com milho safrinha, associado às práticas de obtenção de mais de uma safra ao ano, com grande variação nas datas de semeadura, grande proliferação do milho tiguera, e a condições climáticas atípicas, caracterizadas por predominância de temperaturas mais elevadas em relação aos anos anteriores, bem como atraso nas chuvas, em determinadas regiões, aparentemente, contribuíram para a ocorrência de um surto das doenças denominadas enfezamentos, cujos agentes causais são transmitidos pela cigarrinha *Dalbulus maidis*. Esse surto de enfezamentos foi observado na safrinha 2015, principalmente nas regiões sudoeste de Goiás, noroeste e triângulo mineiro. Nesse mesmo período, e na safrinha 2016, foi também observada alta incidência de enfezamentos e alta densidade populacional da cigarrinha *D. maidis* na região oeste da Bahia, onde se cultiva, essencialmente, o milho irrigado. Em algumas localidades, foi simultaneamente observada alta incidência da virose denominada risca, cujo vírus agente causal é transmitido por essa mesma cigarrinha. Alta incidência da virose mosaico-comum foi observada em localidades dos estados de São Paulo e do Mato Grosso do Sul, ocorrendo simultaneamente com alta incidência de enfezamentos.

Esse surto, principalmente dos enfezamentos, causou perdas expressivas em áreas de produção de grãos e em áreas de produção de sementes de milho.

Caracterização e Aspectos Epidemiológicos dos Enfezamentos

Os enfezamentos do milho são doenças sistêmicas que afetam a fisiologia, a nutrição, o desenvolvimento e a produção da planta afetada. O enfezamento-pálido é causado por uma espécie de espiroplasma, denominada *Spiroplasma kunkelii*. O enfezamento-vermelho tem sido reiteradamente associado ao fitoplasma denominado Maize bushy stunt (MBS-fitoplasma), embora ainda não tenha sido feita comprovação dessa etiologia por meio do postulado de Koch, para esse fitoplasma, que não cresce em meio de cultura axênica. O espiroplasma e o fitoplasma são microrganismos procariontes, sem parede celular, pertencem à classe Mollicutes, são comumente denominados molicutes, e são transmitidos para plântulas de milho sadias, pela cigarrinha *Dalbulus maidis*, sendo essa transmissão do tipo persistente e propagativa. Caracteristicamente, os molicutes infectam o floema das plantas de milho, e a cigarrinha, ao se alimentar da seiva da planta doente, adquire espiroplasma, fitoplasma ou ambos. Durante um período latente, variável entre três e quatro semanas, esses molicutes multiplicam-se nos tecidos da cigarrinha, e atingem suas glândulas salivares, tornando-a infectante, capaz de transmiti-los, durante toda a vida. Ninfas e adultos, machos ou fêmeas da cigarrinha podem adquirir e transmitir os molicutes entre plantas de milho. A transmissão para as plântulas de milho ocorre entre uma e 24 horas, dependendo do genótipo de milho (Nault, 1980; Massola Júnior et al., 1999; Oliveira et al., 2002a,2002b; Oliveira & Sabato, 2017).

Não há evidências de transmissão do espiroplasma ou do fitoplasma pelos ovos da cigarrinha, para a geração seguinte (Oliveira et al., 2017), e não são transmitidos através das sementes de plantas de milho infectadas (Oliveira-Sabato, dados não publicados).

A infecção por mollicutes ocorre nos estádios iniciais do desenvolvimento da plântula de milho, e os sintomas dos enfezamentos, caracteristicamente, aparecem na fase reprodutiva, sendo o dano que causam na produção de grãos da planta doente tanto maior quanto mais jovem a plântula de milho for infectada (Massola Júnior et al., 1999; Oliveira et al., 2002a,2002b). A redução na produção de grãos da planta doente pode ser superior a 70%, sendo a redução total na produção de grãos de uma lavoura diretamente proporcional ao percentual de plantas com enfezamentos, para cultivar de milho susceptível a essas doenças (Sabato et al., 2013; Coelho et al., 2017).

Temperaturas médias acima de 17 °C à noite e de 27 °C durante o dia favorecem os enfezamentos, por causa da multiplicação mais rápida dos mollicutes, nas cigarrinhas e nas plantas (Oliveira et al., 2007). Em meio de cultura axênica o espiroplasma cresce em temperaturas em torno de 30 °C (Whitcomb et al., 1986; Gomes et al., 2017).

A avaliação experimental da incidência de enfezamento em milho semeado semanalmente, em Sete Lagoas-MG, e cultivado até a produção, mostrou maior incidência dos enfezamentos quando a semeadura foi realizada tardiamente, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e correlação positiva entre essa incidência e a umidade relativa do ar

(Oliveira & Oliveira, 2003). Considera-se que esse efeito possa estar diretamente relacionado às condições ótimas de temperatura favorável à multiplicação dos molicutes, e à umidade relativa do ar, que permite maior desenvolvimento das plantas, com manutenção contínua dos estômatos abertos. Por outro lado, considera-se também que pode ser causado por maior concentração de cigarrinhas, e de molicutes, acumulados ao longo dos meses do ano, no milho da área experimental e das imediações.

Em campo, é em geral impossível distinguir entre os sintomas do enfezamento-pálido e do enfezamento-vermelho. A planta de milho com enfezamento (**Figura 1**) pode ser identificada por meio dos sintomas foliares que surgem como clorose nas margens e na parte apical das folhas, podendo essa clorose ser acentuada entre as nervuras secundárias.

A essa clorose, segue-se avermelhamento, ou apenas amarelecimento das folhas, dependendo do genótipo de milho. As plantas apresentam encurtamento de internódios, espigas pequenas, frequentemente com poucos grãos, às vezes em proliferação. Algumas vezes, sintomas característicos da infecção com espiroplasma, que são estrias cloróticas-esbranquiçadas, nas folhas, projetando-se da base em direção ao ápice, podem ser encontrados. Sintomas caracterizados por intenso avermelhamento das folhas, associado à proliferação de espigas pequenas, e/ou de perfilhamento na base da planta e/ou nas axilas foliares, indicam infecção com fitoplasma (Nault, 1980; Sabato, 2017).



Figura 1. Planta de milho sadia e planta com enfezamento. Foto: Elizabeth de Oliveira Sabato

Os enfezamentos podem ocorrer simultaneamente com a virose denominada risca, cujo vírus agente causal é também transmitido pela cigarrinha *D. maidis*, sendo algumas vezes denominados “complexo de enfezamento”.

A incidência dessas doenças, no Brasil, tem aumentado desde a década de 1990 (Costa et al., 1971; Oliveira et al., 1998; Oliveira & Sabato, 2017).

A Cigarrinha *Dalbulus maidis*

A cigarrinha *D. maidis* é um inseto diminuto, com cerca de 4 mm de comprimento, de coloração branca, ou palha, ou acinzentada, que vive, preferencialmente, no cartucho das plântulas de milho (**Figura 2**) e deposita ovos, abaixo da epiderme foliar (Marín, 1987; Oliveira, 1996).



Figura 2. Cigarrinha *D. maidis*. Foto: Elizabeth de Oliveira Sabato

A população desse inseto se estabelece nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas de milho, e emigra a partir do florescimento e da produção das plantas, para colonizar novas áreas com milho (Oliveira et al., 2015). Assim, pode concentrar-se em áreas com plântulas de milho, ou no milho tiguera recém-emergido, quando a maioria das lavouras, nas imediações, se encontra em fase de colheita, ou quando foram recém-colhidas.

Essa cigarrinha é o único inseto-vetor dos mollicutes em milho, no Brasil, e vive e se reproduz apenas nas plantas desse cereal (Marín, 1987; Oliveira et al., 2017). O confinamento experimental de cigarrinhas *D. maidis* em plântulas de outras espécies da família Poaceae mostra morte da quase totalidade dos indivíduos em período de 24 a 96 horas (Haas, 2010).

O ciclo biológico da cigarrinha, de ovo a adulto, é de cerca de 20 a 39 dias, podendo alongar-se quando a temperatura ambiente é baixa, ou encurtar, em condições de temperaturas elevadas; e os adultos podem viver entre 42 e 51 dias, sendo esses dados variáveis para diferentes condições experimentais (Marín, 1987; Oliveira & Querino, 2017).

Estudos comparativos da incidência de cigarrinhas em área de milho de sequeiro, cultivado na estação chuvosa, e em milho irrigado, cultivado na estação de seca, realizados no Piauí, mostraram quatorze vezes mais cigarrinhas na área irrigada, em relação à área de sequeiro (Meneses et al., 2016). Aparentemente, esses resultados evidenciam a importância da umidade relativa do ar para o desenvolvimento e a proliferação da cigarrinha, condição-ambiente que prevalece no interior do cartucho da plântula de milho, e que pode ser perpetuada pela irrigação, favorecendo também o seu desenvolvimento e proliferação nas plantas adultas do milho. Essa condição permite a ocorrência de altas densidades populacionais de cigarrinhas estabelecendo novas colônias em lavouras de milho subsequentes, com plântulas recém-emergidas, resultando sempre em outras densidades populacionais ainda mais altas.

Incidência de Enfezamentos no Milho, no Brasil: Histórico, Cenário Atual e Interpretação de Fatores Determinantes

Os enfezamentos do milho foram relatados pela ocorrência no Brasil, na década de 1970, sendo observado naquela época seu acontecimento esporádico no milho cultivado no Estado de São Paulo, a maior incidência em plantios tardios, e o fato de plantas com enfezamento-vermelho, em geral, não apresentarem grande redução em altura. A presença de

espiroplasma e de fitoplasma no floema das plantas infectadas foi demonstrada por meio da microscopia eletrônica de transmissão (Costa et al., 1971; Kitajima & Costa, 1972) sendo a cigarrinha *D. maidis* indicada como o inseto-vetor desses mollicutes. A cigarrinha *D. maidis* foi mencionada pela primeira vez no Brasil em 1938, como *Cicadula*, por Mendes (1938).

Na safra de milho 1994/1995, foi registrado um surto de enfezamentos na cultura do milho, em grandes proporções, ocorrendo na região sudoeste do Estado de Goiás, e na região do Triângulo, no Estado de Minas Gerais (Oliveira et al., 1998). Na safra 2005/2006, ocorreu um surto dessas doenças na região norte do Rio Grande do Sul e na região sudoeste de Santa Catarina, e na safrinha 2015, na região sudoeste da Bahia, na região sudoeste do Estado de Goiás, e na região noroeste de Minas Gerais. Em todas essas regiões e ocasiões, foi observada coincidência com semeaduras tardias (realizadas ao final do mês de novembro ou no mês de dezembro, na safra, ou em safrinha, que também é semeadura tardia), presença de grande quantidade de milho tiguera nas imediações, frequentemente vegetando entre plantas de outros cultivos, a exemplo da soja, ocorrência de temperaturas elevadas durante o ciclo vegetativo das lavouras de milho afetadas, grande incidência de enfezamentos, com perdas expressivas, em determinadas áreas com milho irrigado por meio de pivô e, algumas vezes, como em 2005/2006, elevada ocorrência simultânea da virose mosaico-comum (Oliveira-Sabato, dados não publicados).

Observa-se que fatores como o rápido aumento da área cultivada com milho, em mais de dois milhões de hectares, em 2015 (estima-se esse aumento em quatro milhões de hectares, em 2017), associado à semeadura em datas não sincronizadas

e sucessivas, proporcionada por regimes de chuvas atípicas e atrasadas, ou pela disponibilidade da irrigação por pivô, que se expande a cada dia, e às práticas agrícolas que favorecem a existência, a permanência e o aumento contínuo do milho tiguera, têm propiciado ambiente favorável e perfeito para a proliferação ininterrupta e em alta densidade da cigarrinha e dos molicutes, no milho, particularmente nas regiões quentes, onde as temperaturas do ambiente também favorecem o desenvolvimento e os danos pelas doenças que causam.

É importante ressaltar que a água, seja da chuva ou da irrigação, favorece também a germinação do milho tiguera, e as plântulas tiguera emergem de forma não sincronizada, uma vez que grãos, ou sementes, quando se trata de campo de produção de semente, e até espigas, remanescentes das colheitas, permanecem em diferentes níveis de profundidade na área.

Atualmente, os enfezamentos continuam ocorrendo em alta incidência, particularmente em determinadas localidades.

Manejo do Risco de Incidência e Danos por Enfezamentos

A interação tríplice entre o hospedeiro, o patógeno e o ambiente condiciona a ocorrência, a expressão, e os danos causados por toda e qualquer doença vegetal (Agrios, 1988). Alternativas como a utilização da resistência genética do hospedeiro, o controle químico do patógeno ou do seu vetor e o manejo cultural para escape são continuamente avaliadas para minimizar riscos de perdas por doenças vegetais. Muitas vezes, a utilização de apenas uma dessas alternativas, isoladamente,

não é suficiente para minimizar os riscos de incidência e de perdas, pela doença, como é o caso dos enfezamentos.

O manejo dos enfezamentos necessita ser preventivo e requer conhecimento sobre o ciclo e os fatores que favorecem a doença, sobre o ambiente, a época e as condições em que será feita a semeadura do milho, bem como sobre o reconhecimento dos sintomas da doença. Requer adoção de medidas preventivas por todos os produtores da região, e planejamento estratégico para evitar proliferação de milho tiguera, e sobreposições do ciclo do milho cultivado, especialmente, em localidades e em épocas de alto risco.

Para planejar o cultivo do milho em mais de uma safra ao ano, é importante conhecer a sincronia de semeadura na região e o nível de incidência de enfezamentos nas proximidades da área destinada à semeadura.

O milho tiguera, que pode preservar e/ou concentrar os molicutes, o vírus da risca, e as cigarrinhas *D. maidis*, e produzir inóculo para novas lavouras de milho, deve ser eliminado com antecedência suficiente para garantir a morte das cigarrinhas antes da semeadura da nova lavoura. Em áreas com vários pivôs, o cultivo do milho e de outras espécies vegetais deve ser planejado de forma a minimizar a incidência da tiguera na localidade, principalmente entre espécies de Poaceae, que tornam difícil seu controle com herbicidas.

As sementes de milho devem ser tratadas com inseticidas para controlar a cigarrinha *D. maidis*. Essa prática, se adotada por todos os produtores de uma região, pode contribuir para reduzir a população desse inseto, na região. Quando não há entrada

contínua de cigarrinhas infectantes na área em que as sementes foram tratadas, pode-se reduzir a incidência dos enfezamentos.

Observa-se que pulverizações excessivas com inseticidas podem, possivelmente, matar inimigos naturais da cigarrinha *D. maidis*, que são parasitas de ovos. Atualmente, são conhecidas três espécies de insetos inimigos naturais parasitas dos ovos da cigarrinha (Oliveira & Sabato, 2017).

O reconhecimento das plantas de milho com enfezamentos permite evitar novas semeaduras em proximidade das áreas com essas plantas e, assim, evitar a disseminação da doença para as plântulas de novas lavouras.

Se disponíveis, cultivares de milho com resistência genética aos enfezamentos devem ser usadas. As cultivares de milho devem ser rotacionadas para evitar pressão de seleção de uma única cultivar sobre a população dos patógenos, e consequente seleção de possíveis variantes genéticas dos molícutes e do vírus da risca, com quebra da resistência dessa única cultivar. Além disso, a diversificação de cultivares permite minimizar riscos e perdas.

Impedir sobreposições do ciclo do milho evita a concentração de cigarrinhas e de molícutes ao longo do tempo; a semeadura deve ser sincronizada ao máximo possível.

Quando a incidência de enfezamentos atinge nível alto, e a densidade populacional de cigarrinhas é alta, em determinada localidade, a interrupção do ciclo do milho é alternativa para eliminar ambos, desde que o milho tiguera não permaneça nessa área.

Virose Risca: Caracterização, Aspectos Epidemiológicos e Manejo

A virose do milho que no Brasil é denominada risca é causada por *Maize rayado fino virus* (MRFV), que é transmitido pela cigarrinha *D. maidis*. Esse vírus ocorre em vários países das Américas (Gámez, 1980), sendo conhecido no Brasil desde a década de 1970 (Kitajima, 1979; Talamini et al., 2017).

A cigarrinha *D. maidis* transmite o MRFV após período de incubação variável entre 8 e 37 dias, e mantém a capacidade de infectar por um a 20 dias. Os sintomas dessa virose aparecem em plântulas com idade entre oito e 14 dias, como pontos cloróticos sobre as nervuras das folhas, tomando aspecto de riscas que se projetam da base em direção ao ápice da folha (**Figura 3**). Os sintomas podem ser visualizados também nas folhas de plantas adultas (Gámez, 1980; Oliveira & Oliveira, 2003).

No Brasil, essa virose tem sido comumente observada ocorrendo nas mesmas áreas ou nas plantas de milho com enfezamentos, uma vez que o MRFV é transmitido pelo mesmo inseto-vetor dos mollicutes, e não tem sido isoladamente estudado.

Medidas para o manejo dos enfezamentos são aplicáveis ao manejo dessa virose.



Figura 3. Plântula de milho com virose risca. Foto: Elizabeth de Oliveira Sabato

Virose Mosaico-comum, Caracterização, Aspectos Epidemiológicos e Manejo

A virose do milho no Brasil denominada mosaico-comum é causada por uma espécie de vírus pertencente ao gênero *Potyvirus*, denominada *Sugarcane mosaic virus* (SCMV). Esse vírus infecta numerosas espécies gramíneas pertencentes à família Poaceae, exceto a cana-de-açúcar, e é transmitido de forma não persistente, por espécies de pulgões, principalmente pelo pulgão do milho, *Ropalosiphum maidis*. A disseminação do SCMV ocorre por meio de picadas de prova feitas pelo pulgão alado, ocorrendo transmissão do vírus imediatamente após o pulgão picar uma planta infectada com esse vírus, e em seguida, uma planta sadia. Após adquirir o vírus na planta

infectada, o pulgão o transmite por algumas horas, ou por alguns dias, cada vez que realiza picada de prova em planta sadia. Os sintomas dessa virose podem ser mais facilmente identificados nas folhas das plântulas de milho do que nas folhas de plantas adultas, e caracterizam-se pela presença de manchas cloróticas irregulares, em padrão de mosaico (**Figura 4**).



Figura 4. Plântula de milho com virose mosaico-comum. Foto: Elizabeth de Oliveira Sabato

A infecção da plântula de milho com SCMV causa redução no seu desenvolvimento e na produção de grãos. Para minimizar o risco de incidência dessa virose é importante dessecar espécies gramíneas infectadas, que apresentem sintomas característicos da infecção por SCMV, se presentes nas imediações da área de semeadura do milho. A utilização de cultivares de milho com resistência genética ao vírus é medida altamente efetiva para

seu controle. A resistência ao SCMV é controlada por poucos genes, sendo do tipo dominante (Almeida et al., 2000, 2001; Gonçalves et al., 2011; Souza et al., 2012; Talamini et al., 2017).

Referências

AGRIANUAL . Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2017. Disponível em: <<http://www.agrianual.com.br>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. San Diego: Academic Press, 1988. 803 p.

ALMEIDA, A. C.; OLIVEIRA, E.; RESENDE, R. Detecção de vírus por RT-PCR, hibridização "Dot-Blot" e Dot-Elisa em milho comum. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 2, p. 168-174, 2000.

ALMEIDA, A. C. L.; OLIVEIRA, E.; RESENDE, R. O. Fatores relacionados à incidência e disseminação do vírus do mosaico comum do milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 6, n. 4, p. 766-769, 2001.

COELHO, A. M.; LANDAU, E. C.; SABATO, E. O. Época de semeadura do milho e incidência de doenças causadas por mollicutes. In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 199-213.

COSTA, A. S.; KITAJIMA, E. W.; ARRUDA, S. C. Moléstias de vírus e de micoplasma no milho em São Paulo. **Revista da**

Sociedade Brasileira de Fitopatologia, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 39-41, 1971.

CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 517 p.

GÁMEZ, R. **Maize rayado fino virus**. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux: Association of Applied Biologists, 1980. (CMI/AAB. Descriptions of Plant Viruses, 220).

GOMES, E. A.; CASTANHEIRA, A. L.; SOUZA, I. R. P. Metabolismo, fisiologia e variabilidade genética de espiroplasmas, com ênfase em *Spiroplasma kunkelii*. In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 55-70.

GONÇALVES, M. C.; GALDEANO, D. M.; MAIA, I. G.; CHAGAS, C. M. Variabilidade genética de Sugarcane mosaic virus causando mosaico em milho no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 4, p. 362-369, 2011.

HAAS, I. C. R. **Potenciais hospedeiros alternativos para o fitoplasma, o espiroplasma, agentes do enfezamento do milho, e alterações bioquímicas em plantas infectadas por espiroplasma**. 2010. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

KITAJIMA, E. W.; COSTA, A. S. Microscopia eletrônica de microrganismos tipo micoplasma nos tecidos de milho afetado

pelo enfezamento e nos órgãos da cigarrinha vectora portadora. **Bragantia**, Campinas, v. 31, n. 6, p. 75-87, 1972.

KITAJIMA, E. W. Citopatologia e localização de vírus de milho e de leguminosas alimentícias nas plantas infectadas e nos vectores. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 4, n. 2, p. 241-254, 1979.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SOUZA, D. L. de. **Variação da área irrigada por pivôs centrais no Brasil entre 2013 e 2014**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 126). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140600/1/bol-126.pdf>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

MARÍN, R. Biología y comportamiento de *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae). **Revista Peruana de Entomología**, Lima, v. 30, p. 113-117, 1987.

MASSOLA JÚNIOR, N. S.; BEDENDO, I. P.; AMORIM, L.; LOPES, J. R. S. Quantificação de danos causados pelo enfezamento vermelho e enfezamento pálido do milho em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 136-142, 1999.

MENDES, L. O. T. Observações sobre alguns insetos coletados sobre algodoeiro durante os anos de 1936 e 1937. **Boletim técnico do Instituto Agrônômico**, Belém, v. 45, p. 1-15, 1938.

MENESES, A. R.; QUERINO, R. B.; OLIVEIRA, C. M.; MAIA, A. H. N.; SILVA, P. R. R. Seasonal and vertical distributivo of *Dalbulus*

maidis (hemíptera: Cicadellidae) in Brazilian corn fields. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 99, n. 4, p. 750-754, 2016.

NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogens host ranges, and vectors. **Phytopathology**, v. 70, p. 659-662, 1980.

OLIVEIRA, C. M. **Variação morfológica entre populações de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott, 1923) (Hemiptera:Cicadellidae) de algumas localidades do Brasil.** 1996.69f. dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S.; QUERINO, R. B. Técnicas de criação da cigarrinha-do-milho para estudos de transmissão e de controle biológico. In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.155-179.

OLIVEIRA, C. M.; QUERINO, R. B. Aspectos taxonômicos, biológicos e ecológicos da cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho: insetos-vetores, mollicutes e vírus.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 141-154.

OLIVEIRA, E. de; TERNES, S.; VILAMIU, R.; LANDAU, E. C.; OLIVEIRA, C. M. Abundance of the insect vector of two different mollicutes plant pathogens in the vegetative maize cycle. **Phytopathogenic Mollicutes**, New Delhi, v. 5, S117-S118, 2015.

OLIVEIRA, E. de; OLIVEIRA, A. C. de. Incidência de enfezamento e de *Maize rayado fino virus* em milho em diferentes épocas de plantio e relação entre a expressão de sintomas dos enfezamentos e produção. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 221-224, 2003.

OLIVEIRA, E.; MAGALHÃES, P. C.; GOMIDE, R. L.; VASCONCELOS, C. A.; SOUZA, I. R. P.; CRUZ, I.; SHAFFERT, R. Growth and nutrition of mollicute infected maize. **Plant Disease**, St. Paul, v. 86, n. 9, p. 945-949, set. 2002a.

OLIVEIRA, E.; SANTOS J. C.; MAGALHÃES, P. C.; CRUZ, I. Maize bushy stunt phytoplasma transmission is affected by spiroplasma acquisition and environmental conditions. **Bulletin of Insectology**, Bologna, v. 60, n. 2, p. 229-230, 2007.

OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, C. M.; SOUZA, I. R. P.; MAGALHÃES, P. C.; CRUZ, I. Enfezamentos em milho: expressão de sintomas foliares, detecção dos mollicutes e interações com genótipos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 53-62, 2002b.

OLIVEIRA, E.; RESENDE, R. O.; GIMÉNEZ PECCI, M. L. P.; LAGUNA, I. G.; HERRERA, P.; CRUZ, I. Ocorrência e perdas causadas por mollicutes e vírus na cultura do milho safrinha no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 1, p. 19-25, jan. 2003.

OLIVEIRA, E.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, F.T.; PAIVA, E.; RESENDE, R. O.; KITAJIMA, W. E. Enfezamento pálido e enfezamento vermelho na cultura do milho no Brasil central. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 45-47, 1998.

OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho:** insetos-vetores, mollicutes e vírus. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 278 p.

SABATO, E. O. Enfezamentos do milho. In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho:** insetos-vetores, mollicutes e vírus. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 11-24.

SABATO, E. O.; LANDAU, E. C.; COELHO, A. M. Effect of the corn stunt spiroplasma disease on maize production. **Acta Phytopathologica Sinica**, v. 43, p. 203-204, 2013.

SOUZA, I.; GIOLITTI, F.; CARNEIRO, N.; LENARDON, S.; OLIVEIRA, E.; GOMES, E.; NODA, R.; SOUZA, F. de. Sequence diversity in the coat protein of SCMV infecting maize and sorghum in Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 120-136, 2012.

TALAMINI, V.; SABATO, E. O.; OLIVEIRA, F. A. Viroses na cultura do milho no Brasil. In: OLIVEIRA, C. M.; SABATO, E. O. (Ed.). **Doenças em milho:** insetos-vetores, mollicutes e vírus. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 215-223.

WHITCOMB, R. F.; CHEN, T. A.; WILLIAMSON, D. L.; LIAO, C.; TRULLY, J. G.; BOVÉ, J. M.; MOUCHES, C.; ROSE, D.; COAN, M. E.; CLARK, T. B. *Spiroplasma kukelii* sp. Nov.: characterization of the ethiological agent of corn stunt disease. **International of Systematic Bacteriology**, v. 36, n. 2, p. 170-178, 1986.

Capítulo 8

Estratégias de Monitoramento e Manejo de Percevejos nas Fases Iniciais de Desenvolvimento do Milho Safrinha

Rodolfo Bianco

Introdução

Nos últimos anos, a cultura do milho incorporou importante evolução tecnológica, com reflexos positivos na produtividade. Contribuíram decisivamente para essa evolução a modernização do sistema produtivo, genética de alto potencial e a liberação comercial de organismos geneticamente modificados, a exemplo do milho Bt. Entretanto, tem aumentada a ocorrência de pragas iniciais, demandando táticas de controle mais eficientes e, com menor impacto ao meio ambiente. Além disso, para que se consiga obter altas produtividades de milho, é extremamente necessária a manutenção da população inicial de plantas, e que estas tenham desenvolvimento uniforme e vigoroso. A morte de plantas jovens reflete diretamente na população e conseqüentemente na produtividade, visto que a cultura do milho apresenta baixa capacidade de compensação efetiva entre plantas (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Insetos-pragas sugadores, notadamente o percevejo-barriga-verde (*Dichelops*

spp), pode atacar severamente as plântulas de milho, reduzindo o estande e o potencial produtivo da planta danificada.

Para aliar crescimento da agropecuária, com sustentabilidade dos sistemas de produção, é fundamental aplicar o Manejo Integrado de Pragas (MIP). O desenvolvimento e a implantação do MIP requerem avanços no conhecimento técnico-científico. Conhecimentos estes que devem ser repassados a técnicos e produtores, de modo a capacitá-los sob a ótica da preservação e melhoria dos recursos naturais. Assim, o MIP deverá estar perfeitamente integrado ao manejo do agroecossistema como um todo, em que informações sobre o tipo de solo, cultivares mais indicadas para a região, a melhor época e densidade de semeadura, a rotação, consorciação e diversificação de culturas, que somadas à conservação e melhoria da fertilidade do solo, sejam utilizadas, também, com o propósito de conferir às plantas maior tolerância às pragas, facilitando seu manejo. No MIP, deve-se dar prioridade a ações agroecológicas, que propiciem a manutenção e o incremento dos agentes naturais de controle populacional das pragas. Neste contexto é que o uso adequado dos produtos químicos, dando preferência para os seletivos, passa a ser condição primordial, sem o que não se conseguiria atingir plenamente os objetivos de uma agricultura sustentável e ecologicamente correta. No MIP é extremamente importante conhecer para poder reconhecer os insetos-praga e os benéficos, bem como considerar o monitoramento a base fundamental para tomada de decisão de controlar ou não os insetos-praga.

Manejo de Pragas no Campo

De acordo com Bianco (1991, 1997), o manejo de pragas não deve ser praticado isoladamente, é preciso considerá-lo no contexto geral do manejo da cultura e do agroecossistema como um todo. Vários fatores concorrem para que os insetos atinjam o status de praga na cultura. Dentre eles, destaca-se a disponibilidade de alimento, proporcionada pelo monocultivo em larga escala, condições climáticas favoráveis à praga e o desequilíbrio biológico, agravado pelo uso indevido ou por produtos químicos não seletivos.

A manipulação desse conjunto complexo de fatores não é tarefa fácil, requer planejamento agrícola criterioso, exige observações diretas na lavoura e fundamentalmente, exige a aplicação integrada dos princípios fitotécnicos com métodos de controle às pragas. Portanto, dentro do possível, deve-se evitar a utilização de métodos isolados, que ofereçam somente soluções transitórias e que podem promover o desequilíbrio.

Os princípios fitotécnicos compreendem as informações referentes ao tipo de preparo do solo, a escolha da melhor cultivar para a região, época e densidade de semeadura, sucessão de culturas, consorciação e diversificação de cultivos, conservação do solo, e melhoria e manutenção da fertilidade do solo, através das plantas de cobertura. Assim, busca-se, através do manejo adequado da lavoura, conferir às plantas maior tolerância aos fatores bióticos e abióticos, facilitando o manejo das pragas.

Na implantação do manejo das pragas é necessário que técnicos e produtores obtenham conhecimentos fundamentais

sobre a biologia, hábitos e a maneira de quantificar as pragas ou os danos que estas provocam. Para tanto, metodologias de amostragem das pragas e seus inimigos naturais são de relevada importância.

Outro fator importante é saber o nível de dano tolerado pelas plantas, e entender que medidas de controle somente serão necessárias se alcançados os níveis de ação, evitando, por conseguinte, as aplicações por calendário. Além disso, é importante que se dê preferência a medidas de controle que não interfiram na ação dos insetos benéficos. Vale lembrar que a utilização de produtos não seletivos, via de regra, resulta em desequilíbrio, resistência e ressurgência de pragas, com consequente necessidade de novas aplicações. A manutenção e o incremento dos inimigos naturais dependem diretamente da diversidade da flora e fauna do agroecossistema. Portanto, manter áreas de pousio e mesmo pequenos bosques é de grande contribuição para obter-se maior diversidade da flora na propriedade agrícola. Estas áreas cumpririam a função de atuar como áreas de atração, refúgio e reservatório de insetos benéficos. Resultados semelhantes poderiam ser obtidos com a implantação de multiconsórcios de plantas de cobertura, também denominados de “coquetel” de plantas, muito particularmente aquelas que produzem boa quantidade de pólen e néctar, que servem de atrativo e alimento para muitos inimigos naturais.

Neste contexto, o milho geneticamente modificado, com foco na proteína Bt, não deve ser visto como método isolado de controle de praga, mas como mais uma tática de manejo que compõe o MIP. É preciso fazer cumprir a situação desejada do MIP, evitando incorrer nos erros, que geralmente levam à

prevalência da situação real, conforme indicada na **Figura 1**. É importante que se procure restabelecer a base e os pilares que sustentam o MIP.

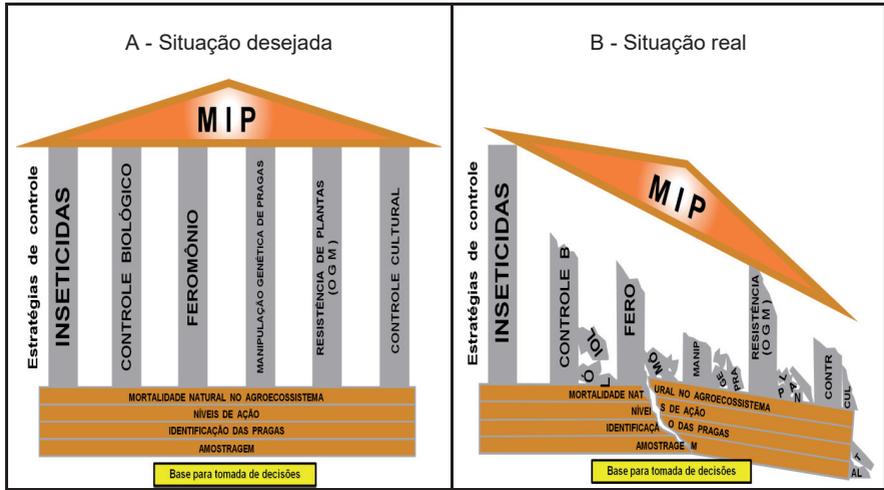


Figura 1. Estratégias para compor o MIP.

Principais Percevejos que Atacam o Milho na Fase Inicial

Percevejos-castanhos (Hemiptera: Cydnidae)

Duas espécies de percevejos-castanhos têm sido mais comumente relatadas, o *Scaptocoris castaneum* e o *Scaptocoris carvalhoi*, que se caracterizam por apresentar corpo de coloração castanha e pernas anteriores escavatórias. Esses insetos ocorrem predominantemente em solos de textura arenosa e média, tanto no sistema do plantio direto como no convencional. Os adultos e as ninfas (forma jovem) possuem hábitos subterrâneos, sugando a seiva das raízes.

Os percevejos-castanhos são facilmente reconhecíveis, no momento da abertura dos sulcos, pelo cheiro característico que exalam. Os sintomas de dano dependem da intensidade e da época de ataque da praga, variando a murcha e amarelecimento das folhas a um subdesenvolvimento e seca da planta. Nas épocas mais secas, aprofundam-se no solo à procura de regiões mais úmidas, retornando à superfície durante as chuvas. O manejo dos percevejos do solo tem sido bastante difícil, principalmente por causa do hábito do inseto em se movimentar no perfil do solo, daí as respostas inconsistentes nos resultados de pesquisa sobre a eficiência do controle químico (Fernandes et al., 2004). Entretanto, resultados promissores são aguardados com a utilização de duas novas moléculas, o chlorantraniliprole e o cyantraniliprole (informação pessoal: Lucia Vivan – Fundação MT). O fato de os insetos estarem mais próximos da superfície, em épocas chuvosas, sugere que medidas de controle químico devem ser concentradas nesses períodos.

Percevejo-marrom (Hemiptera: Pentatomidae)

O percevejo-marrom (*Euschistus heros*), quando em alta população, em final de ciclo da soja, pode atacar a cultura do milho semeado na sequência. Maior risco de danos ocorre no milho semeado mais cedo (até meados de fevereiro), quando o percevejo-marrom ainda está bastante ativo, procurando alimento. Felizmente o percevejo-marrom é menos prejudicial ao milho, se comparado ao percevejo-barriga-verde. Além da presença dos percevejos no milho, deve-se observar também o comportamento desses insetos. Isso é importante porque em algumas situações, o percevejo-marrom pode atacar o colmo do milho, semelhante ao hábito do percevejo-barriga-verde,

e assim causar danos similares, inclusive matando a planta e reduzindo o estande inicial.

Monitoramento e o manejo do percevejo-marrom são similares ao utilizado para o percevejo-barriga-verde e será descrito mais adiante.

Percevejo-barriga-verde (Hemiptera: Pentatomidae)

O percevejo-barriga-verde, tido como praga secundária na cultura da soja, vem nos últimos anos crescendo em importância na cultura do milho. No milho Bt, tolerante a lagartas, o percevejo-barriga-verde tem assumido o “status” de praga principal do milho. Duas espécies têm recebido o nome de percevejo-barriga-verde, o *Dichelops furcatus* e o *Dichelops melacanthus*, que, apesar da semelhança, são distintos quanto a coloração dos espinhos situados no pronoto. Na espécie *D. furcatus*, os espinhos são amarronzados, e no *D. melacanthus*, são negros. As duas espécies são igualmente daninhas e injetam toxinas no colo das plântulas durante o processo de alimentação. Por ser uma praga inicial tem prejudicado significativamente o milho na implantação da cultura, seja reduzindo o estande ou prejudicando o crescimento das plântulas, provocando inclusive o perfilhamento exagerado das plantas. Maiores danos têm sido verificados quando coincide alta população do percevejo com períodos de estiagem. Esses insetos utilizam a palhada como local de abrigo, sobrevivência e multiplicação e, por isso, a sucessão continuada de soja/milho ou soja/trigo em plantio direto é considerada importante fator que favorece o desenvolvimento e incremento populacional da praga. Além disso, os grãos de soja caídos durante a colheita, associados à presença de ervas daninhas, em especial

a trapoeraba, têm favorecido o aumento de populações do percevejo, por constituírem excelente alimento na entressafra (**Figura 2**). Portanto, reduzir as perdas na colheita da soja também tem grande influência na regulação da população de praga (Bianco, 2005). O manejo de ervas daninha também é fator regulador de população de percevejos, conforme se verifica na **Figura 3**. A situação atual de altas populações exige mudanças no seu manejo, sendo necessário considerar o controle no sistema como um todo. Para tanto, é preciso melhorar o controle dos percevejos nos cultivos que antecedem o milho safrinha, principalmente durante a safra da soja.



Figura 2. Situação que favorece o percevejo-barriga-verde (sementes de soja + ervas daninhas).



Figura 3. Diferencial da população do percevejo-barriga-verde conforme manejo de ervas daninhas e exigência diferenciada para seu controle.

Monitoramento do Percevejo-barriga-verde

Existem duas maneiras distintas de avaliar o percevejo na palhada. A primeira, através da contagem direta dos percevejos por unidade de área (m_2). Esta metodologia geralmente exige muito tempo para ser executada, particularmente se existir muito palha no local, e por isso tem sido mais utilizada em levantamento para fins de pesquisa. A segunda maneira de monitorar o percevejo-barriga-verde é mediante o uso de uma isca atrativa (soja umedecida), desenvolvida por R. Bianco (não publicada). A isca é de fácil preparo e utilização, exige pouco tempo e fornece informações que podem subsidiar técnicos e

os produtores no momento de classificar a infestação da praga, associando-a com diferentes níveis de risco para a lavoura (baixo, moderado e alto), por isso muito mais factível de ser adotada em grande escala. Dependendo da condição de risco, recomendam-se diferentes ações (**Tabela 1**).

Tabela 1. Ações de manejo do percevejo-barriga-verde, com base no monitoramento com iscas.

| Nº de iscas com insetos ¹ | Nível de risco | Estratégia de manejo |
|--------------------------------------|----------------|---|
| 0 ou 1 | baixo | - TS com carbamato ou diamidas |
| de 2 a 5 | moderado | - TS com neonicotinoide ou pulverizações iniciais |
| acima de 5 | alto | - TS com neonicotinoide + pulverização aos 2-3 DAE. Continuar monitorando* |

¹número de iscas que atraíram percevejos em relação ao total de 10 iscas.

TS - Tratamento de Sementes. DAE - Dias Após a Emergência do milho.

*Monitorar a lavoura avaliando 10 pontos de 10 plantas em sequencia por talhão (pulverizar novamente se encontrar em média 1 percevejo por amostra).

Preparo das Iscas com Soja para um Talhão

O preparo das iscas envolve os seguintes procedimentos:

1. Medir 500 ml (\pm 300 g) de grãos de soja
2. Colocar num recipiente com água limpa e deixar por 10–15 minutos
3. Escorrer a água
4. Adicionar $\frac{1}{2}$ colher (café) de sal de cozinha e misturar

5. Medir novamente o volume dos grãos já umedecidos e dividir esse volume em 10 partes (iscas) iguais. Se possível preparar um “copo” dosador com volume equivalente a uma isca. Esse copo dosador será de grande utilidade, quando for preparar mais iscas.

Colocação das Iscas no Campo

Dividir a área a ser cultivada com milho em diversos talhões e avaliar separadamente cada um deles (avaliação de uma única área não deve ser extrapolada para toda a propriedade). Em cada talhão são colocadas 10 iscas, dispostas em linha e cobrindo a extensão da maior diagonal do talhão. As iscas preparadas num dia deverão ser colocadas no campo naquele mesmo dia, sendo a avaliação realizada dois dias após. É importante sinalizar com estacas ou varetas (**Figura 4**) o local onde foi deixada a isca, facilitando sua localização. Essas iscas deverão ser cobertas com palha, para tornar o ambiente mais propício para a permanência dos percevejos atraídos. Durante a avaliação são contados os percevejos na amostra, ou simplesmente é verificada a presença ou não de percevejo em cada amostra (isca), anotando-se quantas continham percevejos.

Isclas à Base de Tufos de Milho

Alternativamente às isclas de grãos de soja, é possível classificar a população de percevejos utilizando tufos (± 15 sementes) de milho previamente semeados, que também serão distribuídos em 10 pontos por talhão, seguindo-se a mesma regra de decisão da **Tabela 1 (Figura 5)**.



Figura 4. Monitoramento do percevejo-barriga-verde com iscas à base de soja.

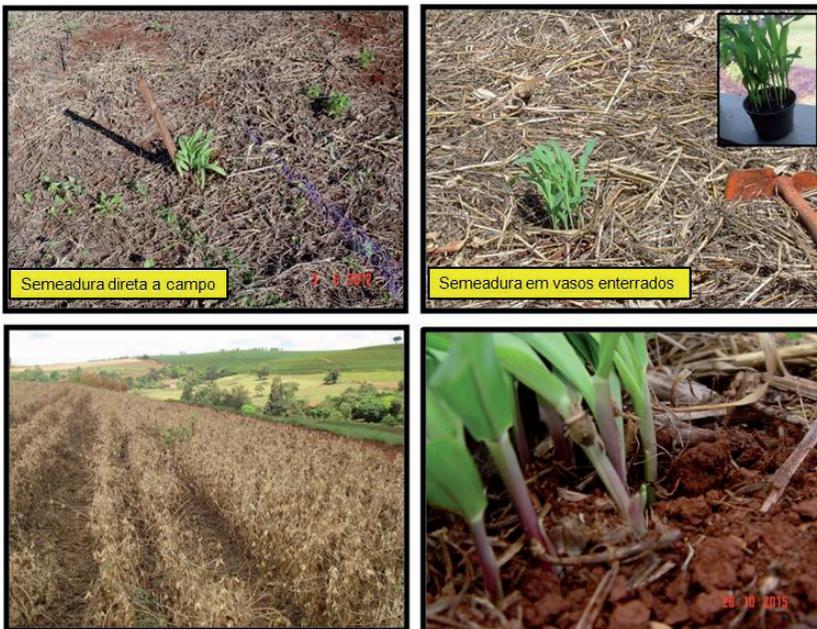


Figura 5. Opção de isca para monitorar os percevejos-barriga-verde e marrom na palhada ou pré-colheita da soja.

Manejo do Percevejo-barriga-verde

A tomada de decisão de controlar ou não a praga deve se basear no histórico de ocorrência do inseto e no monitoramento pouco antes da semeadura do milho.

Quando do surgimento dos primeiros problemas de danos do percevejo-barriga-verde, o tratamento de sementes de milho com inseticidas carbamatos não proporcionou controle suficiente. Por isso, inseticidas via pulverizações foram utilizados massivamente, com risco severo para a fauna benéfica e comprometimento do Manejo Integrado das Pragas do milho (MIP-milho).

Produtos de nova geração para tratamento de sementes (TS), os neonicotinoides, têm apresentando bons resultados no controle desse percevejo, além de possibilitar o aparecimento de um efeito positivo no crescimento inicial do milho e, conseqüentemente, na produção. Entretanto, a maior eficiência desses produtos está condicionada à utilização correta da dose recomendada. Considerando que a dosagem, no tratamento de sementes, leva em conta o peso, ou seja, é geralmente praticada para 100 kg de sementes. No caso de sementes pequenas, gastam-se 12 a 13 kg de sementes/ha, com as 60.000 sementes, ao contrário dos 20 kg normalmente considerados, quando as sementes são grandes. Por isso, a dosagem do produto químico por unidade de semente será menor, e conseqüentemente poderá haver redução na eficiência de controle. Isso indica que a dosagem deverá ser recomendada por sacos de semente (60.000 sementes), independentemente do peso, conforme recomendado por Bianco & Nishimura, 2000 (**Figura 6**). O resultado deste trabalho levou empresas

de agroquímicos e de sementes a registrarem e adotarem a dose corrigida para 60.000 sementes, independentemente do seu tamanho. É importante salientar que na atualidade as novas formulações registradas, principalmente com princípio ativo do Imidacloprid, estão se baseando na dose por 100 kg de sementes. Tal prática pode comprometer a eficácia do tratamento das sementes de milho, reduzindo o período residual e controle dos percevejos.

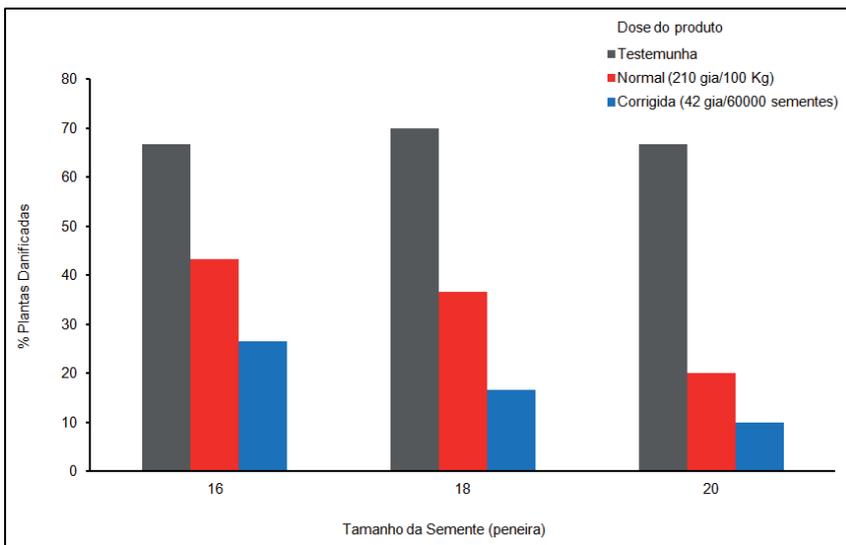


Figura 6. Porcentagem de plantas danificadas em função da dose por tamanho da semente. IAPAR/Londrina-PR. 2000 (Bianco & Nishimura, 2000).

Para decidir pelo TS do milho, deve-se levar em conta o histórico de ocorrência do inseto na propriedade e o monitoramento da população da praga na palhada, pouco antes da semeadura do milho, respeitando sempre o nível de dano (**Figura 7**).

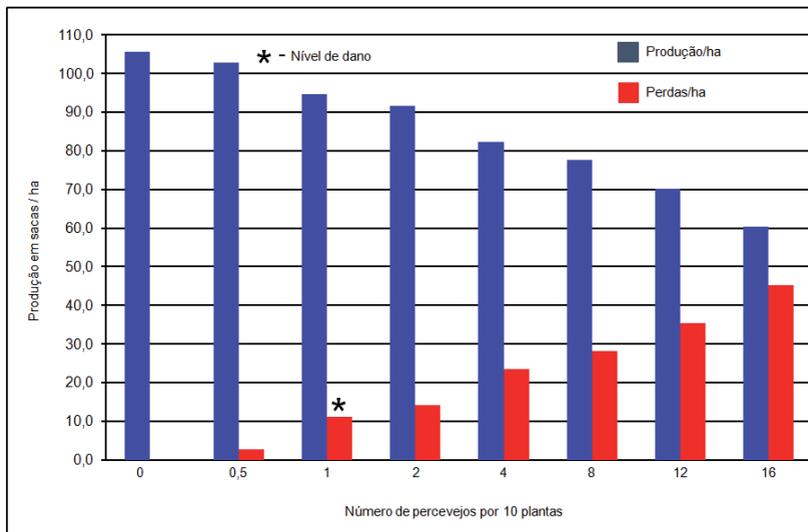


Figura 7. Nível de dano do percevejo-barriga-verde em milho 2ª safra 2013 (IAPAR, 2013, relatório interno, dados não publicados).

Quanto ao controle do percevejo via pulverização, é preciso estar atento ao momento mais adequado para realizá-lo. Pulverizações atrasadas, ou seja, depois dos 10-15 dias de idade da planta, pode tornar ineficaz o controle. Neste caso, mesmo havendo o controle do percevejo, não impede o aparecimento do dano, pois a toxina que o inseto injetou anteriormente já está na planta, por isso o dano aparece depois. O ideal é que o controle seja iniciado logo nos primeiros dias da emergência do milho e quando a infestação atingir o nível de ação (**Figura 8**). Não são recomendáveis pulverizações em milho depois dos 15-20 dias de idade e/ou quando a planta apresentar espessura de colmo acima dos 1,5 cm.

Comparando-se os dois métodos de aplicação dos produtos químicos, o tratamento das sementes, com os neonicotinoides,

leva vantagem por ser mais eficiente e por ser seletivo aos inimigos naturais (Cruz & Bianco, 2001).



Figura 8. Vistoria de lavouras de milho, logo após a emergência das plantas.

Dado que os neonicotinoides são altamente solúveis, aumenta consideravelmente o risco de lixiviação dos produtos, principalmente em solos arenosos. Em tal condição, e particularmente quando a população da praga é alta, torna-se necessária a aplicação complementar ao TS com pulverizações foliares. Na aplicação em pré-plantio dos inseticidas junto com dessecantes, na situação de área com presença notória de ervas infestantes, em particular a trapoeraba, fica afetada a eficiência dos inseticidas em pulverização, em razão do efeito “guarda-chuva”, pois os insetos geralmente se abrigam sob as plantas

(Brustolin et al., 2011). Melhor seria complementar o TS com pulverizações depois de dessecada a área e logo nos primeiros dias da emergência do milho.

Observações em campo sobre o comportamento dos percevejos indicaram que há maior atividade de movimentação na palhada e procura por alimento logo após o “nascer” do sol, prolongando-se até próximo das 10–11 horas da manhã. Com temperaturas muito elevadas, a tendência do percevejo é de retornar para a palhada, conforme observado por Bianco, R. em 2009 (dados não publicados) (**Figura 9**).

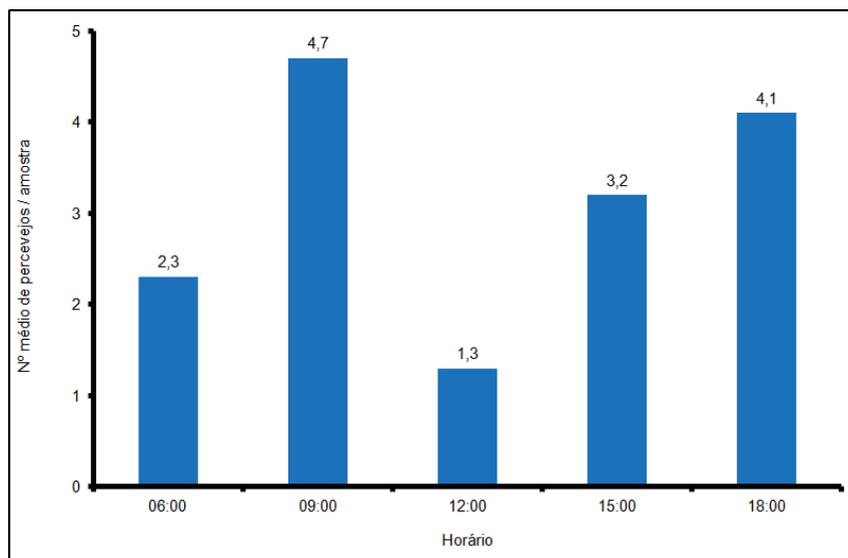


Figura 9. Nº de percevejos em 4 m lineares de milho (20 plantas), em função do horário. IAPAR/Safrinha 2009.

Muitas vezes, por falta de informação, produtores decidem pelo replantio do milho com base na porcentagem de plantas com danos, sem considerar os diferentes graus de injúria que

o inseto provoca. As informações apresentadas na Figura 10 podem subsidiar técnicos e produtores na hora da tomada de decisão. Somente seria justificável o replantio nas situações de morte de plantas e pelo menos 60–70% das plantas com notas 3 ou 4, associado a clima desfavorável.

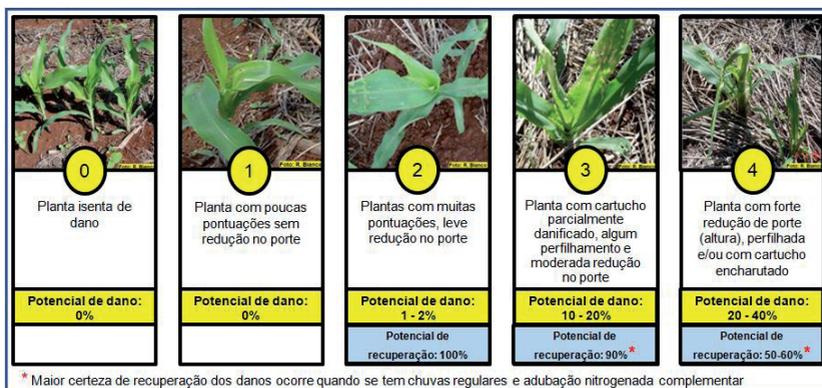


Figura 10. Escala de notas de injúrias do percevejo-barriga-verde (Fotos: R.Bianco/IAPAR).

Considerações Finais

O manejo de percevejos na cultura do milho não depende exclusivamente da escolha de táticas diretas de controle da praga. É preciso também estar apoiado em boas práticas agrícolas, particularmente as que promovam rápido e vigoroso crescimento das plantas de milho. Neste sentido, a escolha de cultivares que alcancem mais rapidamente diâmetro de colmo maior que 1,5 cm deveria ser tão importante quanto é a escolha de cultivares por produtividade. A seguir são expostas diferentes ações que completam as estratégias de manejo de percevejos:

1. Em áreas com presença de ervas daninhas, deve-se aplicar um dessecante 7 a 10 dias antes da semeadura do milho;
2. Realizar o tratamento de sementes (TS), quando encontrar acima de 1 inseto por m₂ de palhada;
3. Os produtos para TS são altamente solúveis, portanto, em situações de alta precipitação, no período que vai da semeadura até os 10 dias da emergência, a atenção quanto ao monitoramento e controle do percevejo deve ser redobrada;
4. Após a emergência do milho (2-3 dias), avaliar a lavoura e, se encontrar 1 percevejo vivo/10 plantas, realizar a pulverização complementar ao TS;
5. Reavaliar 5-7 dias após. Encontrando novamente 1 percevejo vivo/10 plantas, reaplicar;
6. Usar bico cone ou duplo leque espaçados de 50 cm, com vazão de 150 l/ha ou mais. A altura da barra não deve passar os 50 cm do solo;
7. Em função do período de maior exposição do percevejo, aplicar das 7h às 11h e das 16h às 19h, evitando os horários de alta temperatura;
8. Evitar aplicações em dias frios e/ou com baixa umidade relativa;
9. Áreas com histórico de altas infestações: realizar manejo de população no sistema produtivo, procurando melhorar o controle dos percevejos no cultivo anterior (**Figura 11**);
10. Nunca esperar o aparecimento dos sintomas de dano para controlar a praga, pois poderá já ser tarde;
11. Prover boa nutrição ao milho. O nitrogênio ajuda na recuperação das plantas com sintomas de dano, quando aplicado entre 10 e 15 dias da emergência das plantas.

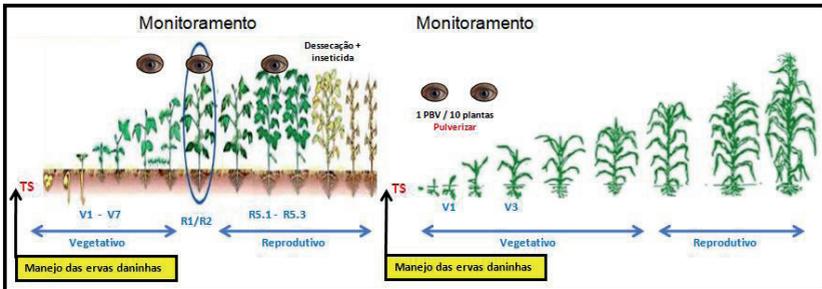


Figura 11. Manejo do percevejo-barriga-verde – PBV, no sistema soja/milho.

Referências

BIANCO, R. Pragas do milho e seu controle. In: IAPAR. **A cultura do milho no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. p. 187-221. (IAPAR. Circular, 68).

BIANCO, R. Ocorrência e manejo de pragas em plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. dos G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. (Ed.). **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, 1997. p. 238-244.

BIANCO, R. O percevejo-barriga-verde no milho e no trigo em plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ano 15, n. 89, p. 46-51, 2005.

BIANCO, R.; NISHIMURA, M. Control of the *Dichelops* spp. By treating the corn seeds of different sizes with a mixture of thiamethoxam and thiodicarb. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 21.; BRAZILIAN CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 18., 2000, Foz do Iguassu. **Abstracts...** Londrina: Embrapa Soja, 2000. p. 51. (Embrapa Soja. Documentos, 143).

BRUSTOLIN, C.; BIANCO, R.; NEVES, P. M. O. J. Inseticidas em pré e pós-emergência do milho (*Zea mays* L.) associados ao tratamento de sementes, sobre *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, p. 215-223, 2011.

CRUZ, I.; BIANCO, R. Manejo de pragas na cultura do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 6.; CONFERÊNCIA NACIONAL DE PÓS-COLHEITA, 2.; SIMPÓSIO EM ARMAZENAGEM DE GRÃOS DO MERCOSUL, 2., 2001, Londrina. **A cultura do milho safrinha: valorização da produção e conservação de grãos no Mercosul**. Londrina: IAPAR, 2001. p. 79-112.

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

FERNANDES, P. M.; OLIVEIRA, L. J.; SOUZA, C. R. de; CZEPAK, C.; BARROS, R. G. Percevejos-castanhos. In: SALVADORI, J. R.; ÁVILA, C. J.; SILVA, M. T. B. da (Ed.). **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. p. 345-378.

Capítulo 9

Manejo da Lagarta-do-Cartucho em Lavouras de Milho Convencionais e Transgênicas Bts

Germison Vital Tomquelski

Josiane Oliveira

Introdução

A planta de milho apresenta um grande número de pragas, que durante o ciclo da cultura são capazes de causar redução na produção, resultando em prejuízos consideráveis para o agricultor.

As lagartas podem gerar grandes prejuízos na cultura, levando comumente a quebras na ordem de 30% ou mais. De modo geral, na região Centro-Oeste, a intensidade do ataque das diversas espécies de lagartas tem obrigado os produtores a realizarem 3 a 9 pulverizações na cultura para o seu controle, em ambientes Bts e não Bts. O ataque e custo para o controle têm afetado a produção e rentabilidade do milho.

Entre as diversas lagartas que atacam a cultura, as da espécie *Spodoptera frugiperda*, comumente chamada de lagarta-do-cartucho-do-milho, encontram na região Centro-Oeste boas condições para seu desenvolvimento, comprometendo a produtividade dessa cultura.

Lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* Smith (LEPIDOPTERA:NOCTUIDAE)

Descrição e Biologia

A massa de ovos pode ter várias cores, mas na grande maioria as posturas são acinzentadas. Após a eclosão, a lagarta caminha até a região do cartucho das folhas e inicia sua alimentação raspando as folhas. Uma de suas características é que nesta fase ela raspa apenas um lado da folha, deixando o outro sem danos. Na medida do tempo em que crescem, as lagartas provocam orifícios nas folhas, e, sem controle, destroem o cartucho das plantas. Uma lagarta bem desenvolvida pode medir 5 cm de comprimento, sendo que a duração da fase de lagarta pode durar entre 12 a 30 dias. A cor dela varia do cinza-escuro ao marrom, apresentando um “Y” invertido na parte frontal da cabeça. Linhas longitudinais dorsais branco-amareladas, com pontos pretos no corpo também são características pontuais. O canibalismo explica, em parte, o fato comum de se encontrar apenas uma lagarta grande por cartucho, o que acaba sendo necessário para a espécie, pois a massa de ovos colocada na planta pode alcançar até 1.000 ovos. Na média, observa-se em torno de 250 ovos. Lagartas de instares diferentes podem ser encontradas em um mesmo cartucho, porém separadas pelas lâminas das folhas.

A pupa ocorre no solo, porém é possível encontrá-la também em outras partes da planta de milho, mas com menor frequência. O adulto é uma mariposa que mede 3,5 cm de envergadura, com asas anteriores mais escuras e desenhadas que as posteriores. Apresenta dimorfismo sexual - machos

e fêmeas diferentes. A cópula ocorre à noite. É comum se observar em altas populações adultos escondidos nas plantas mesmo durante o dia. As mariposas apresentam maior trabalho nos horários das 19 às 23 horas do dia.

Danos

Historicamente o dano da principal praga do milho é o consumo das folhas novas (**Figura 1B**), chegando a destruir o cartucho da planta (**Figura 1A**), com redução da produção em torno de 40%. O período crítico para reduzir o potencial de produção está entre a 4ª e a 10ª folha. Infestações tardias podem provocar a destruição do pendão floral, podendo também atacar o “cabelo” do milho (estilos-estigmas) prejudicando a formação dos grãos. Outro dano da lagarta, porém menos comum, é a perfuração das espigas novas, geralmente no meio para a base, podendo ser confundida com a lagarta-da-espiga, que é outra espécie-praga da cultura. Em razão da semeadura contínua de milho em muitas regiões (verão, safrinha e inverno irrigado), a lagarta se aproveita de “pontes verdes”, adquirindo comportamentos de lagarta-rosca, cortando as plântulas rente ao solo, e mesmo como lagarta-elasma, perfurando o colmo rente ao solo, provocando o sintoma de “coração-morto”, levando a grandes falhas no estande ou a ressemeaduras de algumas áreas.

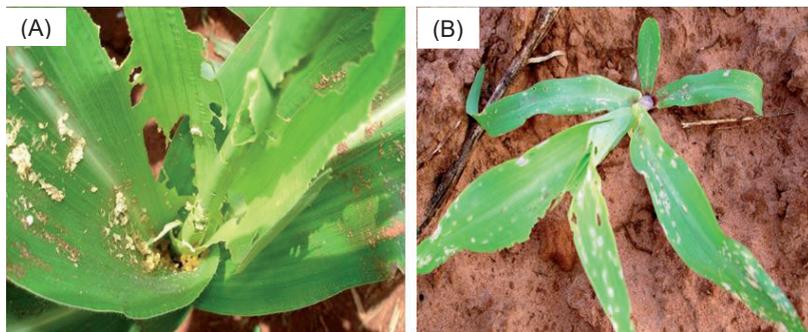


Figura 1. Dano de *S. frugiperda* no cartucho do milho (A) e planta de milho atacada por *S. frugiperda* (B).

Manejo

No Manejo Integrado de Pragas (MIP) é fundamental o reconhecimento das pragas e seus inimigos naturais. O monitoramento é a operação que reúne informações para tomada de decisão de controle, entre elas, os danos e a intensidade da ocorrência. A partir de determinado índice deve-se ou não adotar o controle.

Entretanto, nos programas de MIP, a tomada de decisão de controle é um fator que se modifica em função diversas variáveis, como eficiências estratégias de manejo, pátio de máquinas, custos de controle, entre outras, ao longo dos anos.

De modo geral, o padrão de controle era um número de 20% de plantas raspadas, preconizado por vários pesquisadores. No entanto, antes mesmo dos anos de 2006 e 2007, já eram adotados valores em torno de 10% por alguns pesquisadores.

A operação de monitoramento deve ser executada por uma pessoa treinada em identificar todas as pragas e inimigos

naturais. No caso da lagarta-do-cartucho é interessante diferenciar as lagartas grandes (>1,0cm) e pequenas (<1,0 cm), para melhor ajustar as estratégias de manejo. Com relação ao prejuízo ocasionado pelas lagartas de *S. frugiperda*, podem ser atribuídas notas em função da desfolha, sendo a escala Davis a de maior aceitação no meio científico.

Uma tática que ganhou uso, principalmente nos anos após a ocorrência da *Helicoverpa armigera*, foi a utilização dos feromônios, que contribuem para o monitoramento de *S. frugiperda* facilitando a operação de monitoramento.

Entre os inimigos naturais da lagarta-do-cartucho pode-se citar a tesourinha (*Doru* spp.), parasitoides de ovos do gênero *Trichogramma*, que dependendo da sua intensidade podem contribuir com as estratégias de manejo, complementando parte do controle a adotar. Pode-se citar alguns entomopatógenos que podem ocorrer naturalmente ou mesmo após aplicações, em algumas regiões, como vírus (*Baculovirus*) e fungos (*Beauveria bassiana*, entre outros).

O MIP caracteriza-se em alterar o agroecossistema o mínimo possível, e com esse pressuposto o controle de pragas da cultura do milho deixou de ser realizado através da dependência exclusiva de inseticidas químicos, a partir dos anos 2000, para adotar sistemas que enfatizam o manejo da população de artrópodes no agroecossistema.

Grande parte destas pragas eram controladas com inseticidas em pulverizações até os anos 90, os quais nem sempre eram eficientes. Além disto, determinadas aplicações ainda reduziam a população de inimigos naturais. Com o advento da

biotecnologia, desenvolveu-se um método de controle com o uso de plantas geneticamente modificadas resistentes a insetos, resultado de técnicas de laboratório utilizando-se o gene de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt), uma bactéria encontrada no solo, introduzida em plantas de milho, conferindo resistência à planta, contra algumas espécies de lepidópteros-praga.

A tecnologia do milho geneticamente modificado foi introduzida comercialmente nos Estados Unidos em 1996, e depois utilizada também em outros países como Canadá, Argentina, África do Sul, Austrália, etc. A liberação de cultivares transgênicas comerciais no Brasil ocorreu em 2007.

Esta liberação das cultivares transgênicas apresentava uma questão importante: o efeito da sustentabilidade da tecnologia era condicionada à existência de refúgios, para que os indivíduos resistentes que porventura viessem a ocorrer cruzassem com indivíduos suscetíveis, criados nestas áreas, também citada como estratégia de “alta dose de toxina associada à área de refúgio”. Esta estratégia apresentou por modelos matemáticos a simulação de resistência, sendo necessário 20% de área de refúgio, para durabilidade de pelo menos 10 anos dessa tecnologia (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, 2005). Esta área, além da questão do cruzamento de indivíduos, serviria como hospedeira de inimigos naturais. Após a liberação desta tecnologia no Brasil, observou-se com o passar dos anos falhas de controle. Fato este que ocorreu em parte pela expressão da proteína na planta, com menores valores nas fases de florescimento das culturas (no milho após o pendoamento), e mesmo pelas não serem as tecnologias de “alta dose”, não matando os indivíduos heterozigotos. Aliado a estas questões, houve uma grande falha

de conscientização de toda a cadeia da utilização de refúgios estruturados, não obedecendo a questão das distâncias, disposição e porcentagem da área, além do cultivo intensivo em determinadas regiões, com a polifagia da praga e ainda alguns hospedeiros alternativos no sistema de produção.

Diante das falhas de biotecnologia, foi-se observando no Brasil que era preciso englobar o maior número de ferramentas para atingir o manejo integrado de pragas. E as ferramentas antigas já utilizadas voltaram a ser estratégias consideradas. Entre elas o tratamento de sementes (TS), apesar do seu carácter preventivo, deve ser utilizado em culturas que tenham baixo estande e que possuem pragas que atacam plântulas. Fazer o TS em milho em regiões com histórico de ataque precoce evita aplicações precoces de inseticidas, em um momento em que a planta possui pouca área foliar para absorção do inseticida, o que influi negativamente a eficiência e o poder residual. Além de garantir o estande da cultura, o agricultor permite que os inimigos naturais da lagarta permaneçam mais tempo na área sem sofrer a aplicação de inseticidas.

Os melhores resultados para TS em milho no controle desta praga estão sendo obtidos com a utilização de inseticidas carbamatos e diamidas. Com o fim do residual do TS, variando de 15 a no máximo 30 dias após emergência, se iniciam as aplicações foliares, que devem ser criteriosas. É importante analisar lagartas presentes na palhada anterior à semeadura, e neste caso a complementação com inseticidas em dessecação ou mesmo se possível esperar um tempo maior entre a operação de dessecação e semeadura, a fim de retirar o alimento da praga.

Deve-se ter atenção especial em relação à tecnologia de aplicação na cultura para o controle da lagarta-do-cartucho, pois pelo hábito da lagarta e pela morfologia da cultura, a penetração do inseticida no cartucho da planta sempre desafiou o produtor de milho. As pontas devem ser do tipo leque para lagartas que se encontram no cartucho. Os horários mais quentes dos dias, em trabalhos da Fundação Chapadão, mostram redução acima de 20% no controle desta praga.

Quando as plantas estão muito pequenas, pode-se eliminar bicos-pontas que não irão atingir as plantas e sim apenas as linhas. Por ser uma praga-chave de uma importante cultura no Brasil e no mundo, existem várias opções de inseticidas para o controle da lagarta-do-cartucho, o que facilita a mudança de modos de ação no manejo da praga. No entanto, o processo de resistência aos inseticidas, infelizmente, já foi comprovado no País. De maneira geral, piretroides são produtos de menor custo, mas que devem ser evitados nas primeiras aplicações por causa da pouca seletividade a inimigos naturais. Inseticidas do grupo químico dos carbamatos, como metomil e tiodicarb, podem ser utilizados nestas aplicações. Os naturalytes, como espinosade, espinetoram, clorfenapyr e indoxacarb, são opções muito eficientes de inseticidas, além de outros como clorantraniliprole e flubendiamide, que se mostram efetivos até o momento. As opções do mercado se completam com os inseticidas organofosforados e reguladores de crescimento, este último grupo importante, pelo residual apresentado em trabalhos da Fundação Chapadão, além de ajudar a controlar outras pragas que porventura venham a atacar, principalmente próximo ao pendoamento (problema de *Diatraea saccharalis*). Vale destacar que as misturas devem ser analisadas em função dos casos de resistência desta praga no Brasil.

O problema de resistência a esta praga é tratado por órgãos como o IRAC, que engloba a maioria das empresas detentoras das moléculas inseticidas e biotecnologias, com financiamento a trabalhos em universidades e empresas, a fim de monitorar a suscetibilidade desta praga, ao longo dos anos, às moléculas inseticidas. Normalmente um inseticida muito utilizado em determinada região tem levado a problemas. Desta forma, o técnico deve se atentar aos trabalhos regionais a fim de não ser surpreendido por falhas de controle e mesmo a rotação dos mecanismos de ação. A maioria dos grupos químicos apresentam problemas no Brasil, sendo eles carbamatos, organofosforados, piretroides, reguladores de crescimento, naturalytes, e por último as diamidas. No entanto todos os modos de ação são importantes a fim de rotacionar e evitar o problema de resistência.

O uso de silício como indutor de resistência mostrou experimentalmente resultados promissores, porém ainda não absorvidos em grande escala pelos produtores. O milho transgênico no Brasil primeiramente foi liberado com a tecnologia Yieldgard, que mostrou controle médio de 80% das lagartas no primeiro ano, necessitando de aplicações para evitar os prejuízos. A tecnologia Herculex sucedeu a anterior, no entanto, em resultados da Fundação Chapadão, apresentou efetividade média de 95% de controle no segundo ano de lançamento, e de lá para cá ela perdeu grande parte da sua efetividade. Diante deste fato, vale salientar que de modo geral as tecnologias Bt apresentam certa efetividade no seu lançamento, mas como a praga pode apresentar números maiores que 3 gerações dentro de um ciclo da cultura, chegando a até 12 no ano, isso fez com que o processo de resistência ocorresse de modo rápido.

Em regiões de agricultura intensa, como os Chapadões, onde também são cultivados algodão e sorgo, concomitantemente, ou mesmo em sucessão, e há hospedeiros da lagarta em comum, deve-se buscar a integração de tecnologias a fim de manter esta praga com baixos índices de danos às lavouras, pois a mesma tecnologia pode estar em ambas as culturas, no caso do algodoeiro

De modo geral, as novas tecnologias VT PRO, PowerCore, Viptera-Agrisure também têm requerido intervenções a fim de evitar os prejuízos. Deve-se adotar o nível de 10-20% de plantas raspadas, com nota 3 na escala Davis, para o início do controle nestas tecnologias, obedecendo o posicionamento de cada empresa. Uma das últimas tecnologias lançadas no mercado foi o Leptra, e para ela o nível deve ser de 4% de plantas atacadas, a fim de proporcionar maior longevidade-efetividade.

Analisando desde o início do lançamento das tecnologias Bts, elas contribuíram muito para o manejo desta praga, mas vários fatores, como o número de gerações, falhas de refúgio, sistema de produção e migração para as lavouras, fizeram com que diminuíssemos a efetividade delas.

Deve o produtor atentar ao refúgio estruturado com no mínimo 10% da área, obedecendo questões anteriormente destacadas, além de limitações de pulverizações nesta área a fim de que proporcione boa quantidade de indivíduos a se cruzar com o demais resistentes. Um bom tratamento de sementes e talvez uma aplicação nos estádios de V5-V6 tendem a suprir esta população para o cruzamento dos indivíduos.

A integração dos métodos de controle tende a ser o futuro para o convívio com esta importante praga na cultura do milho. Somente o conhecimento da praga, boa amostragem e definições de estratégias integradas de controle proporcionarão ao produtor o controle dela e conseqüentemente o aumento de produtividade-rentabilidade na cultura do milho.

Referências

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA - CTNBIO. **Parecer técnico prévio conclusivo No 513/2005.**

Brasília, DF, 2005. 9 p.

CRUZ, I. Manejo de pragas da parte aérea da cultura do milho. In: SANDINI, I. E.; FANCELLI, A. L. (Ed.). **Milho: estratégias de manejo para a região Sul.** Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 165-178.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

TOMQUELSKI, G. V.; ROTUNDO, M. Pragas na cultura do milho e seu controle. **Pesquisa, Tecnologia, Produtividade,** Chapadão do Sul, v. 1, n. 3, p. 176-181, 2011.

Capítulo 10

Refúgio como Estratégia de Manejo da Resistência de Insetos para Eventos de Milho Bt

Juliano Ricardo Farias

Oderlei Bernardi

Introdução

O desenvolvimento de técnicas de manipulação genética possibilitou um rápido avanço em várias áreas de conhecimento, dentre estas as ligadas à agricultura. A modificação genética de plantas, pela introdução de genes exógenos, possibilitou a obtenção de novas táticas de manejo de insetos-praga. A introdução de genes em plantas, que expressam proteínas Cry e Vip, da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt), facilitou o controle de muitas espécies de insetos, considerados pragas-primárias de algumas culturas agrícolas (Soberón et al., 2009). O marco dessa revolução tecnológica se deu com a liberação comercial dos primeiros eventos transgênicos para o controle de insetos, nos Estados Unidos em 1996 (James, 2011) e no Brasil em 2005, com a aprovação, pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), do algodão Bt com a expressão da proteína Cry1Ac (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, 2017).

No entanto, por causa da expressão contínua de proteínas Bt nos tecidos da planta, as pragas-alvo de controle são expostas a uma alta pressão de seleção em favor dos indivíduos resistentes. Casos de resistência no campo foram registrados em diversos países, destacando-se *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) a Cry1F em milho em Porto Rico e no Brasil e a Cry1Ab também no Brasil (Storer et al., 2010; Farias et al., 2014; Omoto et al., 2016). O Brasil tem um agravante do ponto de vista de evolução da resistência em pragas-alvo de controle de culturas Bt. A agricultura brasileira está inserida em um clima tropical e subtropical. Isso permite um sistema intensivo de produção de cultivos, no qual ciclos de semeadura de milho, soja e de algodão são sucessivos e sobrepostos, o que expõe as pragas-alvo de controle a proteínas Bt durante a maior parte do ano. Nas regiões do cerrado brasileiro, o inverno seco não tem sido um limitante para o cultivo, pois vastas áreas têm sido irrigadas, possibilitando o cultivo de plantas hospedeiras e a manutenção de altas populações de insetos-praga, como *S. frugiperda*, a qual ocorre em milho durante todo ano e em qualquer estágio de desenvolvimento da cultura, e em algodão, no qual também é exposta a proteínas Bt. No Sul do País, a presença de culturas durante todo ano em função das chuvas, que se distribuem ao longo dos 12 meses, também possibilita a sobrevivência de *S. frugiperda* ao longo do ano. Entretanto, no período de inverno a exposição a proteínas Bt é menor, visto que nesse período o cultivo de plantas Bt (especialmente milho e soja) diminui drasticamente. Neste cenário, se as estratégias de manejo de resistência não forem implementadas em larga escala e de maneira adequada, as condições são amplamente favoráveis para uma rápida evolução de resistência de insetos a proteínas Bt, o que conseqüentemente resultará na perda ou no

comprometimento das tecnologias Bt para o manejo de insetos-praga

Proteínas Bt: Modo de Ação e Classificação

A bactéria de solo *B. thuringiensis* tem sido fonte “doadora” de dois grupos de genes que são expressos em plantas Bt, que são os genes *cry* e *vip*. Os genes *cry* estão localizados em um extracromossomo no plasmídeo da bactéria e são expressos durante a fase de esporulação. Após a expressão das proteínas Cry pela bactéria, essas são agrupadas formando estruturas semelhantes a cristais. Em plantas Bt não ocorre a formação dos cristais proteicos, pois somente a região de interesse (ativa) da proteína inseticida é expressa na planta (Copping & Menn, 2000). Outro grupo de genes são os responsáveis pela expressão de proteínas Vip, que são expressos durante a fase de crescimento vegetativo da bactéria. As proteínas Vip apresentam diferenças estruturais e de receptor no intestino médio dos insetos, portanto, são de grande importância para o manejo de resistência às proteínas Cry expressadas em plantas Bt (Copping & Menn, 2000). Em outras palavras, por se ligarem em sítios distintos, as proteínas Cry matam os insetos resistentes a proteínas Vip, e vice-versa.

O mecanismo de ação inicia-se pela ingestão da proteína Bt pelo inseto e solubilização dos cristais no intestino médio dos insetos, liberando as protoxinas ou delta-endotoxinas (Bravo & Soberón, 2008). Após a solubilização ocorre a ação de proteinases que reduzem o tamanho da proteína, tornando essa apta a se ligar nos receptores da parede do intestino médio dos insetos (mesêntero). Porém, esse processo somente ocorre

em proteínas Bt pulverizadas, ou seja, aquelas presentes em produtos formulados à base de Bt. Em plantas Bt, as proteínas podem se ligar ao receptor primário de caderina no intestino do inseto, sem a necessidade de solubilização (Oppert, 1999; Copping & Menn, 2000; Bravo & Soberón, 2008).

As proteínas Cry apresentam três domínios (regiões). O domínio I é composto por sete alfa-hélices e está relacionado a abertura do poro. A proteína Cry após ligar-se ao receptor de caderina sofre a clivagem de uma α -1 hélice, e então inicia-se o processo de oligomerização da proteína (Bravo et al., 2007). Posteriormente, a proteína oligômero liga-se a um receptor secundário, que dependendo da espécie de inseto pode ser aminopeptidase ou fosfatase alcalina, e que são ancorados por um glicosilfosfatidilinositol na membrana (Bravo et al., 2004). Após esse processo, o poro é formado e permite que ocorra maior permeabilidade de água na membrana celular, e como consequência da grande captação de água pelas células, ocasionando um “edema”, eventual ruptura e desintegração do revestimento do intestino médio, levando o inseto à morte por septicemia (Copping & Menn, 2000).

Os genes *cry* foram classificados até 1998 pelo grupo de insetos que atuavam, porém ainda podem ser encontrados muitos materiais que seguem essa classificação. A partir de 1998, os genes *cry* foram reclassificados de acordo com a similaridade da sequência primária dos aminoácidos da proteína. A nomenclatura atual utiliza quatro divisões, sendo um número, uma letra maiúscula, uma letra minúscula e um número (por exemplo, Cry1Fa1) (Crickmore et al., 1998). Os genes *cry* atualmente estão divididos em 74 grupos (Cry1 a Cry74) e vários subgrupos, como Cry1Ab1 e Cry48Aa3, totalizando 782 genes.

Para genes *vip*, atualmente existem quatro grupos e vários subgrupos, como *Vip1Ad1* e *Vip4Aa1*, totalizando 176 genes (Crickmore et al., 2017). Apesar de existir um grande número de genes Bt identificados, poucos são utilizadas comercialmente em plantas Bt (Bravo & Soberón, 2008). No Brasil, atualmente estão disponíveis sete proteínas Bt para controle de lagartas nas culturas do algodão, milho, soja e cana-de-açúcar (**Tabela 1**) (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, 2017).

Tabela 1. Proteínas Bt expressas em plantas Bt para controle de lagartas no Brasil

| Proteína Bt | Ano da liberação* | Cultura Bt |
|-------------|-------------------|---------------------------------|
| Cry1Ac | 2005 | Algodão e Soja |
| Cry1Ab | 2007 | Algodão, Milho e Cana-de-açúcar |
| Cry1F | 2008 | Algodão, Milho e Soja |
| Cry1A.105 | 2009 | Milho |
| Cry2Ab2 | 2009 | Algodão e Milho |
| Vip3Aa20 | 2009 | Milho |
| Cry2Ae | 2011 | Algodão |

: *Ano da primeira liberação comercial em alguma cultura

Fonte: Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2017).

O milho expressando a proteína Cry1Ab foi o primeiro a ser comercializado no Brasil. Os resultados com este milho em *S. frugiperda* demonstraram que a densidade populacional dessa espécie foi reduzida, em relação ao milho convencional, porém em situações de alta infestação o milho Cry1Ab não apresentou resultados satisfatórios (Fernandes et al., 2003; Farias, 2010). A liberação do milho Cry1F foi uma alternativa mais eficiente de controle de *S. frugiperda*. Em infestações no campo, *S. frugiperda* causava apenas pequenas lesões na planta de milho Cry1F, demonstrando que os híbridos expressando essa

proteína apresentavam alta eficácia contra esse inseto (Waquil et al., 2002; Siebert et al., 2008). Posteriormente, diversas outras tecnologias Bt foram disponibilizadas para controle de insetos (principalmente lagartas) na cultura do milho (**Tabela 2**).

Tabela 2. Tecnologias de milho Bt para controle de insetos no Brasil.

| Milho Bt | Proteína Bt expressa | | | | |
|-------------------------|----------------------|-------|-----------|---------|----------|
| | Cry1Ab | Cry1F | Cry1A.105 | Cry2Ab2 | Vip3Aa20 |
| YieldGard | X | | | | |
| Agrisure TL | X | | | | |
| Herculex | | X | | | |
| YieldGard VT PRO | | | X | X | |
| Viptera | | | | | X |
| Viptera 3 | X | | | | X |
| PowerCore | | X | X | X | |
| Optimum Intrasect | X | X | | | |
| Genuity® VT Triple Pro* | | | X | X | |
| Herculex XTRA | | X | | | |
| Leptra | X | X | | | X |

*Cry3Bb1, Cry34Ab1 e Cry35Ab1 são proteínas liberadas comercialmente em milho Bt para controle de *Diabrotica speciosa* (Germer, 1824). **Apresenta também o gene *cry3Bb1*.

Fonte: Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2017).

Resistência de insetos a plantas Bt

É indiscutível a grande capacidade dos insetos de evoluírem para resistência a diferentes agentes de controle, dentre os quais as plantas Bt. Esse tem sido o principal limitante para a continuidade do uso de plantas Bt no Brasil. A resistência é um

processo natural de evolução, sendo que os mais adaptados sobrevivem e aumentam sua frequência na população na presença do ambiente selecionador (neste caso, a proteína Bt). Portanto, a resistência é uma característica pré-adaptativa, ou seja, os alelos de resistência já estão presentes no campo antes da introdução de qualquer tecnologia Bt. Após a introdução de determinada planta Bt, o uso continuado e em larga escala favorece a seleção dos indivíduos mais adaptados que aumentam de frequência (número) na população, se estratégias de manejo da resistência foram negligenciadas, podendo levar a falhas generalizadas no controle da praga-alvo da tecnologia.

Conceitualmente, um inseto é considerado resistente a uma planta Bt quando esse tem a capacidade de sobreviver nessa planta. Para isso, o inseto deve alimentar-se da planta Bt, durante toda a fase larval, e gerar adultos férteis, com a capacidade de deixar descendentes viáveis (Andow, 2008). Diversos casos de redução na suscetibilidade a proteínas Bt, expressas em plantas, por populações de insetos-alvo, foram reportados no mundo. Os principais casos de resistência em campo estão apresentados na **Tabela 3**.

O que torna um inseto resistente é a presença de alelo(s), chamado(s) as vezes de mutante(s), que conferem uma alteração na estrutura, superexpressão ou subexpressão de um receptor ou enzima, envolvidos em uma das etapas de ação da proteína Bt (Griffitts & Aroian, 2005). A rápida degradação da proteína Bt pelas proteases do intestino médio, o sequestro das proteínas Bt por esterases ou a insuficiente ligação das proteínas Cry as moléculas da superfície celular, como as caderinas, aminopeptidases e fosfatase alcalina, são os principais mecanismos de resistência de insetos a proteínas

Bt (Gahan et al., 2001; Gunning et al., 2005; Ma et al., 2005; Zhang et al., 2009). Por exemplo, a população de *S. frugiperda* resistente ao milho Cry1F em Porto Rico apresentou reduzida expressão e baixa atividade do receptor fosfatase alcalina (Jakka et al., 2016).

Tabela 3. Principais casos de evolução da resistência de insetos as culturas Bt no mundo.

| Cultura | Proteína | Espécie | País | Introdução | Tempo |
|---------|----------|---------------------------------------|---------------|------------|----------|
| Milho | Cry1Ab | <i>Busseola fusca</i> | África do Sul | 1998 | < 8 anos |
| Milho | Cry1F | <i>Spodoptera frugiperda</i> | Porto Rico | 2003 | 4 anos |
| Algodão | Cry1Ac | <i>Pectinophora gossypiella</i> | Índia | 2002 | 6 anos |
| Milho | Cry3Bb1 | <i>Diabrotica virgifera virgifera</i> | EUA | 2004 | 6 anos |
| Milho | Cry1F | <i>Spodoptera frugiperda</i> | Brasil | 2008 | 3 anos |
| Milho | Cry1Ab | <i>Spodoptera frugiperda</i> | Brasil | 2007 | < 9 anos |

*Van Rensburg (2007); Storer et al. (2010); Dhurua & Gujar (2011); Gassmann et al. (2011); Farias et al. (2014); Omoto et al. (2016).

Fatores que Afetam a Evolução da Resistência de Insetos a Plantas Bt

A evolução da resistência de insetos a plantas Bt é afetada por diversos fatores, os quais podem ser divididos em genéticos, ecológicos e operacionais. Fatores genéticos são relacionados à frequência do alelo de resistência, sobrevivência dos genótipos da praga na planta (dominância funcional), número de genes, custo adaptativo, fluxo gênico, entre outros. Fatores ecológicos referem-se ao tamanho populacional do inseto, número de gerações, fecundidade, tipo de reprodução, capacidade de

dispersão, hábito alimentar, entre outros (Glaum et al., 2011). Fatores operacionais são exemplos, o tamanho e arranjo das áreas de refúgio. Os fatores operacionais são os únicos passíveis de manipulação na tentativa de retardar ou evitar a evolução da resistência.

Dentre os fatores genéticos, a frequência inicial do alelo de resistência é um elemento chave para evolução da resistência (Ferré & Rie, 2002). Os organismos diploides apresentam para cada gene duas cópias nas suas células somáticas, sendo uma cópia oriunda da mãe e outra do pai. Portanto, em um mesmo indivíduo podem existir um alelo de resistência e um de suscetibilidade. A frequência do alelo de resistência é a proporção ou porcentagem relativa desse alelo em relação ao alelo de suscetibilidade para um locus numa população (Georghiou & Taylor, 1977). A frequência inicial de genes de resistência a proteínas Bt e inseticidas tem sido considerada como variando entre 10^{-13} a 10^{-2} com base em pressupostos teóricos sobre equilíbrio entre mutação e seleção (Roush & Daly, 1990). Por exemplo, a frequência estimada para o alelo de resistência em *S. frugiperda* para a proteína Vip3Aa20 expressa em milho foi de 0,0009 (aproximadamente 10^{-4}) (Bernardi et al., 2015a). Quanto maior a frequência inicial do alelo de resistência, mais rapidamente se atingirá a frequência crítica, que é quando a eficiência da planta Bt ou do inseticida é comprometida em razão das falhas de controle.

Um segundo fator de grande importância no manejo de resistência é a dominância funcional, que está associada aos conceitos de planta de alta-dose e baixa-dose. A dominância é determinada pela adaptação (sobrevivência) do heterozigoto (RS ou SR) em relação a adaptação dos dois homozigotos

(SS - suscetível e RR - resistente) (Bourguet et al., 2000). Considerando que a resistência de insetos a uma dada proteína Bt, expressa em uma planta, seja governada por uma herança monogênica, as populações da praga-alvo serão constituídas por indivíduos com os genótipos SS, SR e RS ou RR. Sob o pressuposto de alta-dose (resistência funcionalmente recessiva), a concentração da proteína Bt expressa na planta é suficientemente alta para matar todos os heterozigotos (RS e SR). Assim, os indivíduos SS e SR ou RS serão suscetíveis à concentração expressa e os indivíduos RR, resistentes, pois irão sobreviver. Caso os indivíduos SR ou RS sobrevivam à concentração expressa, então a planta Bt é de baixa-dose (resistência funcionalmente dominante). Na ausência da população resistente, existe um método indireto de avaliar se o evento é de alta-dose. Se a concentração da proteína expressa nessa for 25 vezes maior do que a necessária para matar todos os indivíduos suscetíveis (SS), o evento Bt é considerado de alta-dose (United States Environmental Protection Agency, 1998).

Estudos com modelos matemáticos têm demonstrado que a alta-dose é mais eficiente em retardar a evolução da resistência do que a baixa-dose em plantas Bt, quando associadas ao refúgio (Tabashnik et al., 2004). No caso de plantas Bt, a baixa-dose aumenta a probabilidade de a frequência de indivíduos resistentes aumentar rapidamente na população, em razão da sobrevivência dos heterozigotos que apresentam alta frequência na população inicial, quando comparados aos homozigotos resistentes. Na introdução de determinada planta Bt, os alelos de resistência são carregados principalmente pelos indivíduos heterozigotos. Por exemplo, em milho, a expressão de Cry1F foi estimada ser de baixa-dose para *S.*

frugiperda no Brasil, pois as lagartas heterozigotas oriundas do cruzamento entre a linhagem resistente RR e SS, foram capazes de completar ciclo quando alimentadas com milho Cry1F (**Figura 1**) (Farias et al., 2015). Esse foi um dos principais fatores para a rápida evolução da resistência de *S. frugiperda* a essa tecnologia de milho Bt no Brasil.

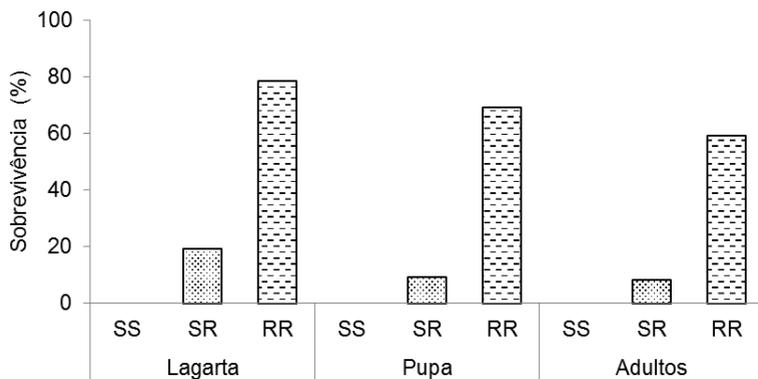


Figura 1. Sobrevivência do suscetível (SS), heterozigoto (SR) e resistente (RR) em milho Cry1F. Fonte: Farias et al. (2015).

A estabilidade da resistência é outro fator que afeta diretamente o risco de resistência de insetos a plantas Bt. A estabilidade da resistência é dependente do custo adaptativo. Se na ausência da tecnologia Bt os insetos resistentes apresentam menor desempenho (sobrevivência e reprodução) em relação aos insetos suscetíveis, então existe um custo adaptativo para a resistência (Gassmann et al., 2009). Nesse caso, se a pressão de seleção diminuir, a frequência do alelo de resistência diminui na população com o passar do tempo e a tecnologia Bt pode tornar a ser eficiente no controle da praga-alvo. Ao contrário, se não houver custo adaptativo da resistência, uma vez comprometida a eficácia da tecnologia Bt, essa tornará a ser eficiente, mesmo

que fique vários anos fora do mercado. Na maioria dos estudos que avaliaram o custo adaptativo a proteínas Bt em pragas-alvo de controle, a resistência tem sido revertida com a ausência da pressão seletiva, em razão da presença de custo adaptativo associado com os genes de resistência ou com outros loci, estreitamente relacionada com esses genes (Ferré & Rie, 2002). Por exemplo, para *S. frugiperda* não foi observado custo adaptativo da resistência a Cry1F expressada em milho Bt no Brasil (Horikoshi et al., 2016). Após alguns anos de ausência de milho Cry1F em Porto Rico, a frequência de resistência continua no mesmo patamar do momento da retirada dessa tecnologia do mercado, demonstrando que não há um custo adaptativo relevante nas populações de *S. frugiperda* daquela localidade (Storer et al., 2012).

Estratégias de Manejo de Resistência de Insetos a Plantas Bt

A estratégia de manejo mais eficaz para combater a evolução da resistência é fazer todo o possível para evitar que ela ocorra em primeiro lugar. Nesse sentido, as estratégias de manejo da resistência têm o objetivo de evitar ou retardar a evolução da resistência de modo preventivo, ou seja, antes da resistência se tornar um problema econômico, do que de forma reativa para recuperar a suscetibilidade (Andow, 2008). Infelizmente, a maioria das ações de manejo da resistência são iniciadas após a constatação de falhas no controle de uma praga com o uso de um determinado agente de controle. A principal estratégia de manejo da resistência de insetos utiliza-se de área de refúgio associado às plantas Bt, expressando doses suficientemente alta de proteína(s) inseticida(s), capazes de tornar a resistência completamente recessiva, em outras palavras, plantas de alta-

dose (Shelton et al., 2000). As áreas de refúgio são a fonte de indivíduos suscetíveis que ao acasalar com os possíveis resistentes da área Bt, dão origem a insetos heterozigotos para o locus de resistência. Nesse caso, a tecnologia Bt sendo de alta-dose ocasionará a morte desses insetos, retardando assim a evolução da resistência (**Figura 2**). No caso de a planta Bt não atender os requisitos de alta-dose, a área de refúgio deveria ser maior, para assim “diluir” o alelo de resistência na população da praga-alvo (Alstad & Andow, 1995; Storer et al., 2003). O refúgio estruturado é a principal estratégia de manejo de resistência para as culturas Bt liberadas comercialmente no Brasil.

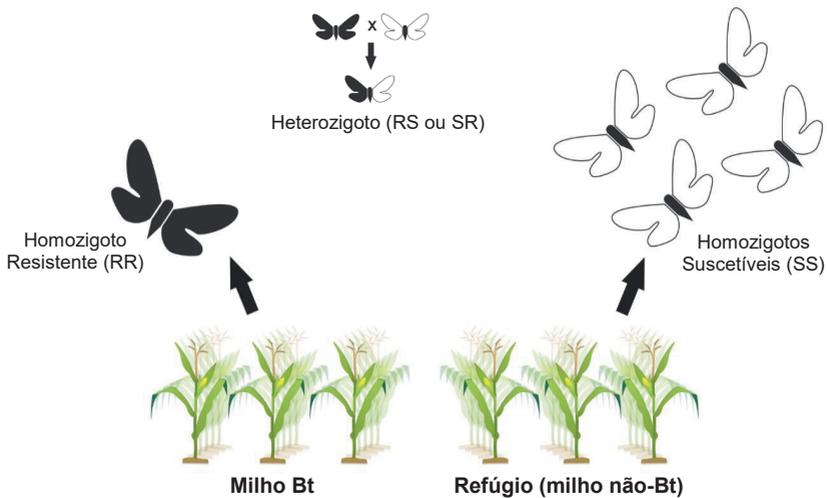


Figura 2. Representação esquemática da estratégia de alta-dose e refúgio para manejo de resistência em culturas Bt. Fonte: Bernardi et al. (2016a).

A piramidação de genes tem sido outra estratégia utilizada para retardar a evolução da resistência (Roush, 1998). A piramidação de genes consiste na inserção na planta de

ao menos dois genes (proteínas Bt) com sítios de ligação distintos, em outras palavras sem a presença de resistência cruzada. Populações resistentes de *S. frugiperda* demonstraram resistência cruzada para as proteínas do grupo Cry1 (Cry1Aa, Cry1Ac, Cry1A.105, Cry1F e Cry1Ab), ou seja, essas têm similar sequência de aminoácidos e compartilham os mesmos receptores no intestino médio dos insetos (Storer et al., 2010; Hernández-Rodríguez et al., 2013; Carrière et al., 2015; Bernardi et al., 2015b) (**Tabela 4**). Essa similaridade, principalmente no domínio II da estrutura tridimensional da proteína Bt, favorece a evolução da resistência cruzada em pragas-alvo de controle, pois mutações no sítio de ação, onde essas proteínas se ligam para exercer o seu efeito tóxico, podem comprometer a sua toxicidade (Hernández-Rodríguez et al., 2013; Carrière et al., 2015). No entanto, casos de resistência cruzada entre proteínas Vip, Cry1 e Cry2 ainda não foram detectados. Portanto, a piramidação só pode ser considerada como estratégia de manejo de resistência quando ao menos dois genes Bt de grupos ou modo de ação distintos são inseridos em uma determinada planta Bt, e tenham alta atividade inseticida para a mesma praga-alvo de controle. Nessa situação, os resistentes às duas proteínas seriam raros na população. Sendo assim, a piramidação de genes é uma importante estratégia de manejo da resistência, no entanto, essa estratégia também necessita do uso de áreas de refúgio estruturado para ser efetiva, o qual deve ser implementado conforme orientação da empresa detentora da tecnologia Bt.

Tabela 4. Similaridade na sequência de aminoácidos entre proteínas Bt expressas em plantas Bt no Brasil.

| Proteínas Bt | | Similaridade na sequência de aminoácidos da proteína Bt (%)* | | | |
|--------------|--------|--|------------|-------------|-------|
| | | Domínio I | Domínio II | Domínio III | Média |
| Cry1Ab | Cry1Ac | 100 | 99 | 51 | 86 |
| Cry1Ac | Cry1F | 75 | 51 | 50 | 60 |
| Cry1Ac | Cry2Ab | 42 | 15 | 40 | 37 |
| Cry1Ab | Cry1F | 75 | 51 | 64 | 64 |
| Cry1Ab | Cry2Ab | 42 | 15 | 26 | 36 |
| Cry1A.105 | Cry1F | 75 | 51 | 96 | 72 |
| Cry1A.105 | Cry2Ab | 42 | 15 | 28 | 34 |
| Cry1F | Cry2Ab | 43 | 22 | 31 | 35 |

*Vip3A não tem homologia (similaridade) na sequência de aminoácidos com proteínas Cry.

Fonte: Carrière et al. (2015).

Recomendações para a Semeadura da Área de Refúgio

1. O tamanho da área refúgio depende do total cultivado com a cultura Bt (**Figura 3**). É recomendada a adoção de 20% de área de refúgio para a cultura do algodão ou soja e 10% para a cultura do milho, as quais devem ser cultivadas com híbridos ou variedades não Bt.
2. É recomendável que o refúgio seja plantado com um híbrido ou variedade de ciclo vegetativo similar, o mais próximo possível e ao mesmo tempo que a tecnologia Bt.

3. O refúgio deve ser formado por um bloco de plantas não Bt que se encontre a menos de 800 metros da área com o cultivo Bt, portanto, a distância máxima entre qualquer planta Bt e uma planta da área de refúgio (não Bt) não deve ser superior a 800 metros.
4. O cultivo de faixas de refúgio dentro do campo com cultivo Bt é recomendável para aumentar a eficácia do refúgio em evitar ou retardar a evolução da resistência.
5. O refúgio deve ser plantado na mesma propriedade do cultivo da cultura Bt e ser manejado pelo mesmo agricultor, de modo a garantir a produção de indivíduos suscetíveis.
6. Não deve ser realizada a mistura de sementes Bt e não Bt.

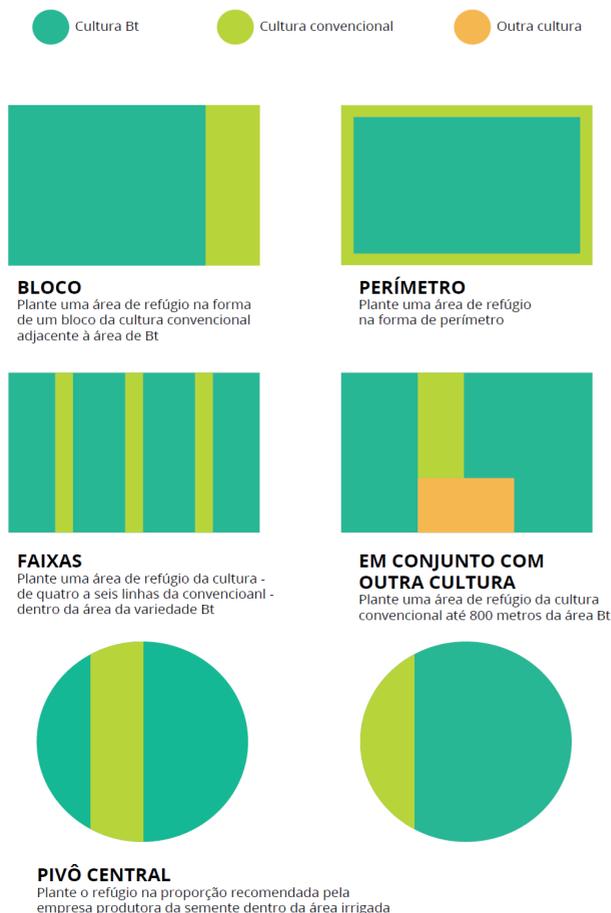


Figura 3. Opções de configuração de área de refúgio. Fonte: Bernardi et al. (2016b).

Recomendações para o Manejo da Área de Refúgio

O Comitê de Ação a Resistência a Inseticidas (IRAC-BR) tem recomendado algumas práticas agrícolas a serem adotadas nas áreas de refúgio (plantas não Bt) (Insect Resistance Action

Committee, 2017). De acordo com esse comitê, as áreas de refúgio devem ser manejadas como toda a lavoura, com o uso de pulverizações de inseticidas ou a adoção de outros métodos de controle sempre que as populações das pragas atingirem o nível de ação com base no monitoramento. Para se verificar a necessidade de controle adicional da praga-alvo, deve-se proceder o monitoramento (amostragem) para a tomada de decisão de se realizar ou não pulverizações complementares de inseticidas, seguindo o esquema de “janelas” (cada janela tem duração de ± 30 dias). Ao se estabelecer janelas de aplicação, as chances de as gerações seguintes do inseto-alvo serem expostas ao mesmo modo de ação do inseticida e o risco de desenvolvimento de resistência a inseticidas serão reduzidos.

A lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda*, é a principal praga-alvo das tecnologias de milho Bt no Brasil. Entretanto, por causa das falhas de controle dessa espécie por tecnologias de milho Bt, algumas práticas agrícolas têm sido recomendadas. Atualmente, se fazem necessários a amostragem e o monitoramento de *S. frugiperda* em milho Bt e não Bt. Na amostragem deve-se avaliar 20 plantas em sequência, em pelo menos 5 pontos da lavoura, totalizando 100 plantas/hectare. A avaliação do nível de ação para esse inseto é feita com base em uma escala visual de danos de zero a nove (0 - 9), conhecida como Escala Davis. O nível de ação é atingido quando 20% das plantas do refúgio (milho não Bt) e milho Bt apresentarem nota de dano igual ou superior a 3 (pequenas lesões circulares e algumas lesões alongadas de até 1,3 cm comprimento nas folhas do cartucho). Ao atingir o nível de ação, tem sido recomendado o uso de pulverizações foliares de inseticida (dar preferência a produtos seletivos e, se necessário, mais de uma

pulverização; deve-se fazer rotação de inseticidas com modo de ação distinto) (Insect Resistance Action Committee, 2017).

Diante do aumento considerável do número de pulverizações de inseticidas em milho Bt e não Bt, existe a necessidade de planejamento do uso de inseticidas para evitar a evolução da resistência aos inseticidas. Como estratégia de manejo da resistência, tem sido recomendado fazer a rotação de inseticidas com modo de ação distinto. Esta estratégia de manejo da resistência a inseticidas é baseada na premissa que a frequência de resistência a um produto (A) diminui quando produtos alternativos (por exemplo, B e C) são utilizados. Para o sucesso da rotação há a necessidade de assumir que existe custo adaptativo dos indivíduos resistentes na ausência da pressão de seleção e que não exista resistência cruzada entre os inseticidas usados em rotação. Além disso, para que a estratégia de rotação de inseticidas seja efetiva no manejo da resistência, deve-se respeitar o intervalo mínimo para o restabelecimento da suscetibilidade. Em outras palavras, se usado um produto A, ele deveria ser aplicado novamente após o restabelecimento da suscetibilidade, pois caso contrário pode ocorrer um aumento da frequência de resistência. O intervalo mínimo para o restabelecimento da suscetibilidade varia com o produto, mecanismo de resistência e agroecossistema de cultivo.

No contexto prático, o ideal seria utilizar um mesmo inseticida somente uma vez por safra ou ano, para permitir o restabelecimento da suscetibilidade e evitar a evolução da resistência. Especificamente para *S. frugiperda* em milho, deve-se evitar ou reduzir o uso de carbamatos, organofosforados, piretroides e benzoilureias por causa dos casos de resistência

já reportados. Entretanto, vale ressaltar que quanto maior o número de pulverizações de inseticidas em áreas de refúgio, menor sua efetividade no manejo da resistência, por causa de um menor número de insetos suscetíveis nessas áreas. Portanto, deve-se reduzir ao máximo de duas pulverizações de inseticidas no refúgio, fazendo o controle de pragas somente quando necessário e de preferência na fase inicial do estabelecimento da cultura, no máximo até o estágio V_6 do milho.

Recomendações Adicionais para o Manejo da Resistência de Insetos em Milho

Outras boas práticas agrícolas também podem ser usadas para maximizar a eficiência das estratégias de manejo da resistência em áreas de cultivo de milho Bt e não Bt (Insect Resistance Action Committee, 2017). Para o controle de infestações iniciais, o uso de tratamento de sementes (TS) pode oferecer controle satisfatório de pragas das fases iniciais de desenvolvimento da cultura e retardar ou minimizar a pulverização de inseticidas foliares. O uso de TS é importante para o estabelecimento do estande da lavoura, pois os danos causados por essas pragas resultam em falhas na lavoura em razão dos danos à parte aérea das plantas recém-emergidas. No contexto do manejo da resistência, o uso de TS visando o controle de lagartas auxilia no estabelecimento de plantas nas áreas de refúgio, e serve como um modo de ação distinto na fase inicial de desenvolvimento da cultura. Caso seja necessário o uso adicional de inseticida foliar, é recomendável que o inseticida seja aplicado até 25-30 dias após a semeadura e apresente modo de ação distinto do inseticida usado em TS.

Nas áreas de cultivo, uma prática importante de manejo da resistência é fazer o gerenciamento de plantas daninhas e voluntárias (“tigueras”) antes da semeadura e depois da colheita. Antes da semeadura, a dessecação antecipada da palhada (15 a 20 dias antes da semeadura) contribui para a redução de populações de pragas iniciais. As culturas antecessoras, assim como as plantas daninhas e voluntárias, funcionam como plantas hospedeiras para as principais pragas que atacam as culturas na fase inicial, podendo influenciar a espécie predominante e a pressão inicial das pragas. Além disso, plantas daninhas podem ser fontes alimentares de lagartas em instares mais avançados, as quais apresentam maior dificuldade de controle pelas plantas Bt. A movimentação de lagartas entre plantas Bt e daninhas pode acarretar uma exposição subletal dos insetos à proteína Bt, aumentando sua taxa de sobrevivência no campo e, conseqüentemente, o risco de evolução da resistência. Em casos de alta infestação de lagartas remanescentes da palhada, recomenda-se aplicação de inseticidas no pré-plantio, pois lagartas grandes são, de modo geral, menos suscetíveis às proteínas Bt, sobrevivendo mais facilmente à exposição a elas.

Considerações Finais

O manejo da resistência de insetos em culturas Bt tem importância decisiva para a vida útil das tecnologias no campo, bem como dos produtos formulados à base de Bt. As proteínas Bt são amplamente utilizadas na produção agrícola convencional e orgânica em pulverização, portanto, o risco da evolução da resistência às proteínas Bt em plantas geneticamente modificadas prejudicaria todos os agricultores, convencionais ou orgânicos, assim como as empresas de

biotecnologia, que perdem suas tecnologias. Além disso, a falha de controle das tecnologias Bt pode intensificar o uso de inseticidas, os quais passariam a ser novamente a principal estratégia de manejo de insetos na cultura do milho. Portanto, o manejo de resistência de insetos ao milho Bt é um compromisso de todos os segmentos ligados à agricultura. Cabe destacar que o refúgio estruturado é a principal estratégia de manejo de resistência de insetos em milho Bt, sendo que a ausência ou reduzida utilização desta estratégia pode ser determinante para a vida das tecnologias Bt. Produtor, plante refúgio e faça a sua parte!

Referências

ALSTAD, D. N.; ANDOW, D. A. Managing the evolution of insect resistance to transgenic plants. **Science**, Washington, v. 268, p. 1394-1396, 1995.

ANDOW, D. A. The risk of resistance evolution in insects to transgenic insecticidal crops. **Collection of Biosafety Reviews**, Trieste, v. 4, p. 142-199, 2008.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; RIBEIRO, R. S.; OKUMA, D. M.; SALMERON, E.; FATORETTO, J.; MEDEIROS, F. C. L.; BURD, T.; OMOTO, C. Frequency of resistance to Vip3Aa20 toxin from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 76, p. 7-14, 2015a.

BERNARDI, D.; SALMERON, E.; HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P.; OMOTO, C. Cross-resistance between Cry1 proteins in fall

armyworm (*Spodoptera frugiperda*) may affect the durability of current pyramided Bt maize hybrids in Brazil. **PLoS One**, Berkeley, v. 10, n. 10, p. e0140130, 2015b.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; OMOTO, C. **Manejo da resistência de insetos a plantas Bt**. Engenheiro Coelho: Promip, 2016a. 45 p.

BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; HORIKOSHI, R. J.; OMOTO, C. Estratégias de manejo da resistência de insetos para eventos de milho Bt. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercado e segurança alimentar: livro de palestras**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016b. p. 378-406.

BOURGUET, D.; GENISSEL, A.; RAYMOND, M. Insecticide resistance and dominance levels. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 6, p. 1588-1595, 2000.

BRAVO, A.; GÓMEZ, I.; CONDE, J.; MUÑOZ-GARAY, C.; SÁNCHEZ, J.; MIRANDA, R.; ZHUANG, M.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Oligomerization triggers differential binding of a pore-forming toxin to a different receptor leading to efficient interaction with membrane microdomains. **Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes**, Amsterdam, v. 1667, n. 1, p. 38-46, 2004.

BRAVO, A.; GILL, S. S.; SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. **Toxicon**, Elmsford, v. 49, n. 4, p. 423-435, 2007.

BRAVO, A.; SOBERÓN, M. How to cope with insect resistance to Bt toxins? **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 26, n. 10, p. 573-579, 2008.

CARRIÈRE, Y.; CRICKMORE, N.; TABASHNIK, B. E. Optimizing pyramided transgenics Bt crops for sustainable pest management. **Nature Biotechnology**, New York, v. 33, p. 161-168, 2015.

COPPING, L. G.; MENN, J. J. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. **Pest Management Science**, Sussex, v. 56, n. 8, p. 651-676, 2000.

CRICKMORE, N.; BAUM, J.; BRAVO, A.; LERECLUS, D.; NARVA, K.; SAMPSON, K.; SCHNEPF, E.; SUN, M.; ZEIGLER, D. R. **Bacillus thuringiensis toxin nomenclature**. Disponível em: <<http://www.btnomenclature.info/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

CRICKMORE, N.; ZEIGLER, D. R.; FEITELSON, J.; SCHNEPF, E.; VAN RIE, J.; LERECLUS, D.; BAUM, J.; DEAN, D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, New York, v. 62, p. 807-813, 1998.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Liberações comerciais**. Disponível em: <<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/12482.html>>. Acesso em: 20 set. 2017.

DHURUA, S.; GUJAR, G. T. Field-evolved resistance to Bt toxin Cry1Ac in the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), from India. **Pest Management Science**, Sussex, v. 67, n. 8, p. 898-903, 2011.

FARIAS, J. R. **Milho Bt e inseticidas no manejo de lepidópteros-praga**. 2010. 116 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 64, p. 150-158, 2014.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Dominance of a Cry1F resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on TC1507 Bt maize in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 5, p. 974-979, 2015.

FERNANDES, O. D.; PARRA, J. R. P.; NETO, A. F.; PÍCOLI, R.; BORGATTO, A. F.; DEMÉTRIO, C. G. B. Efeito do milho geneticamente modificado MON 810 sobre a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 25-35, 2003.

FERRÉ, J.; RIE, J. V. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 47, p. 501-533, 2002.

GAHAN, L. J.; GOULD, F.; HECKEL, D. G. Identification of a gene associated with Bt resistance in *Heliothis virescens*. **Science**, Washington, v. 293, p. 857-860, 2001.

GASSMANN, A. J.; GASSMANN, A. J.; PETZOLD-MAXWELL, J. L.; KEWESHAN, R. S.; DUNBAR, M. W. Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm. **PLoS One**, San Francisco, v. 6, n. 7, p. e22629, 2011.

GASSMANN, A. J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B. E. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 54, p. 147-163, 2009.

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 70, p. 319-323, 1977.

GLAUM, P.; IVES, A.; ANDOW, D. A. Contamination and management of resistance evolution to high-dose transgenic insecticidal crops. **Theoretical Ecology**, England, v. 5, n. 2, p. 195-209, 2011.

GRIFFITTS, J. S.; AROIAN, R. V. Many roads to resistance: how invertebrates adapt to *Bt* toxins. **BioEssays**, Cambridge, v. 27, n. 6, p. 614-624, 2005.

GUNNING, R. V.; DANG, H. T.; KEMP, F. C.; NICHOLSON, I. C.; MOORES, G. D. New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crop expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, n. 5, p. 2558-2563, 2005.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C. S.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, P.; VAN RIE, J.; ESCRICHE, B.; FERRÉ, J. Shared midgut binding sites for Cry1A.105, Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac and Cry1Fa proteins from *Bacillus thuringiensis* in two important corn pests,

Ostrinia nubilalis and *Spodoptera frugiperda*. **PLoS One**, San Francisco, v. 8, n. 7, p. e68164, 2013.

HORIKOSHI, R. J.; BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; OKUMA, D. M.; FARIAS, J. R.; MIRALDO, L. L.; AMARAL, F. S. A.; OMOTO, C. Near-Isogenic Cry1F-resistant strain of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to investigate fitness cost associated with resistance in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 109, p. 854-859, 2016.

INSECT RESISTANCE ACTION COMMITTEE - IRAC-BR.

Recomendações de manejo da resistência a inseticidas e manejo de pragas para soja, algodão e milho no Brasil.

Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/2bed6c_52f993a9b3ed4c548138d3fbf81c283c.pdf>. Acesso em: 22 set. 2017.

JAKKA, S. R. K.; GONG, L.; HASLER, J.; BANERJEE, R.; SHEETS, J. J.; NARVA, K.; BLANCO, C. A.; JURAT-FUENTES, J. L. Field-evolved mode 1 resistance of the fall armyworm to transgenic Cry1Fa-expressing corn associated with reduced Cry1Fa toxin binding and midgut alkaline phosphatase expression. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 82, p. 1023-1034, 2016.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops:** 2011. Ithaca: ISAAA, 2011. (Brief, n. 43).

MA, G.; ROBERTS, H.; SARJAN, M.; FEATHERSTONE, N.; LAHNSTEIN, J.; AKHURST, R.; SCHMIDT, O. Is the mature endotoxin Cry1Ac from *Bacillus thuringiensis* inactivated by a coagulation reaction in the gut lumen of resistant *Helicoverpa*

armigera larvae? **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, Oxford, v. 35, n. 7, p. 729-739, 2005.

MALLET, J.; PORTER, P. Preventing insect adaptation to insect-resistant crops: are seed mixtures or refugia the best strategy? **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, v. 250, p. 165-169, 1992.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, p. 1727-1736, 2016.

OPPERT, B. Protease interactions with *Bacillus thuringiensis* insecticidal toxins. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, New York, v. 42, p. 1-12, 1999.

ROUSH, R. Two d-toxin strategies for management of insecticidal transgenic crops: can pyramiding succeed where pesticide mixtures have not? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences**, London, v. 353, p. 1777-1786, 1998.

ROUSH, R. T.; DALY, J. C. The role of population genetics in resistance research and management. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticide resistance in arthropods**. New York: Chapman and Hall, 1990. p. 97-152.

SHELTON, A. M.; TANG, J. D.; ROUSH, R. T.; METZ, T. D.; EARLE, E. D. Field tests on managing resistance to *Bt*-engineered plants. **Nature Biotechnology**, New York, v. 18, p. 339-342, 2000.

SIEBERT, M. W.; BABOCK, J. M.; NOLTING, S.; SANTOS, A. C.; ADAMCZYK JR., J. J.; NEESE, P. A.; KING, J. E.; JENKINS, J. N.; MCCARTY, J.; LORENZ, G. M.; FROMME, D. D.; LASSITER, R. B. Efficacy of Cry1F insecticidal protein in maize and cotton for control of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 91, n. 4, p. 555-565, 2008.

SOBERÓN, M.; GILL, S. S.; BRAVO, A. Signaling versus punching hole: How do *Bacillus thuringiensis* toxins kill insect midgut cells? **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 66, n. 8, p. 1337-1349, 2009.

STORER, N. P.; BABCOCK, J. M.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G. D.; BING, J. W.; HUCKABA, R. M. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, n. 4, p. 1031-1038, 2010.

STORER, N. P.; KUBISZAK, M. E.; KING, J. E.; THOMPSON, G. D.; SANTOS, A. C. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico. **Journal of Invertebrate Pathology**, San Diego, v. 110, p. 294-300, 2012.

STORER, N. P.; PECK, S. L.; GOULD, F.; VAN DUYN, J. W.; KENNEDY, G. G. Spatial processes in the evolution of resistance in *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) to Bt transgenic corn and cotton in a mixed agro-ecosystem: a biology-rich stochastic simulation model. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 96, p. 156-172, 2003.

TABASHNIK, B. E.; GOULD, F.; CARRIÈREY. Delaying evolution of insect resistance to transgenic crops by decreasing dominance

and heritability. **Journal of Evolutionary Biology**, Basel, v. 17, n. 4, p. 904-912, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

FIFRA Scientific Advisory Panel: subpanel on *Bacillus thuringiensis* (Bt) plant-pesticides and resistance management. Washington, 1998. Report. Disponível em: <<http://www.epa.gov/scipoly/sap/meetings/1998/february/finalfeb.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2011.

VAN RENSBURG, J. B. J. First report of field resistance by stem borer, *Busseola fusca* (Fuller) to Bt-transgenic maize. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 24, p. 147-151, 2007.

WAQUIL, J. M.; VILELLA, F. M. F.; FOSTER, J. E. Resistência de milho (*Zea mays* L.) transgênico à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2002.

ZHANG, S.; CHENG, H.; GAO, Y.; WANG, G.; LIANG, G.; WU, K. Mutation of an aminopeptidase N gene is associated with *Helicoverpa armigera* resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 421-429, 2009.

Capítulo 11

Panorama dos Sistemas de Produção de Milho Safrinha nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil

Roseli Muniz Giachini

Rodrigo Lopes Ferreira

Carlos Alberto Rodrigues do Santos

Alessandro Guerra da Silva

Jerusa Rech

Alessandra de Fátima Fernandes

Alexandre Ferreira da Silva

Introdução

O milho safrinha vem ganhando importância cada vez maior no cenário nacional, com área semeada e produção maior que o milho cultivado no período da safra. Entretanto, trata-se de uma cultura de risco, sujeita, principalmente, ao déficit hídrico e a baixas temperaturas em momento de definição do potencial produtivo, que pode afetar o rendimento final da lavoura. Apesar destas condições desfavoráveis, os sistemas de produção de milho safrinha vêm sendo aprimorados e adaptados a essas condições, o que tem contribuído para elevar o rendimento das lavouras. O ganho de produtividade observado pode ser atribuído à profissionalização dos produtores, associado ao papel cada vez mais importante de técnicos da iniciativa pública e privada, além do maior fluxo de informações, via mídia especializada (Pereira Filho, 2017). A utilização de cultivares com maior potencial produtivo, o estabelecimento da população de plantas recomendada, a melhoria da qualidade das sementes e do manejo fitossanitário, associados à correção do solo, levando em consideração a

demanda do sistema de produção, são práticas que estão colaborando para o ganho de produção.

Conhecer as particularidades do sistema de produção milho safrinha nas diferentes regiões brasileiras é de fundamental importância para compreender os principais desafios enfrentados pelos produtores. As regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil se caracterizam como importante polo produtor da safrinha. Estes locais apresentam condições edafoclimáticas diferentes que afetam de maneira particular o cultivo do milho safrinha. Desta forma, espera-se que as variáveis do sistema produção (uso da terra, épocas de semeadura, escolha de cultivares, dinâmica de pragas, comercialização e logística) apresentem comportamento distinto em função da sua localidade. Compreender a realidade de diferentes sistemas produção auxilia na percepção das diferentes estratégias adotadas que podem ser aplicadas em cada realidade. Assim, o objetivo deste capítulo é apresentar o diagnóstico do sistema de produção de milho safrinha dos estados do Mato Grosso e de Goiás e da região do Mapito (Maranhão, Piauí, Tocantins).

Mato Grosso

Caracterização da Região e da Sucessão de Cultura

As principais regiões produtoras de milho safrinha no Mato Grosso estão localizadas sob bioma originalmente de Cerrado, com clima tropical chuvoso e estação seca definida. O período chuvoso compreende os meses de outubro a abril. Ressalva-se que podem ocorrer pequenas variações regionais, em que o período chuvoso é um pouco maior, com as chuvas se

estendendo até o mês de maio; são os casos das regiões Oeste e Médio Norte do estado. Na região Sul, é mais comum, por exemplo, a presença de veranicos durante o desenvolvimento da lavoura (Kappes, 2015b). De maneira geral, as precipitações médias anuais que ocorrem nas regiões mencionadas estão entre 1.100 e 1.600 mm.

Conforme dados do Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária, o Médio Norte de Mato Grosso, uma das regiões agrícolas mais importantes do País, foi responsável por 43% da área e da oferta estadual da produção de milho no ano de 2017. Sorriso é o município detentor da maior área cultivada de milho safrinha, algo em torno dos 440.000 hectares (ha). A segunda região representativa no estado, em termos de área cultivada de milho safrinha, é a Sudeste, seguida pelo Oeste e Nordeste (Figura 1).

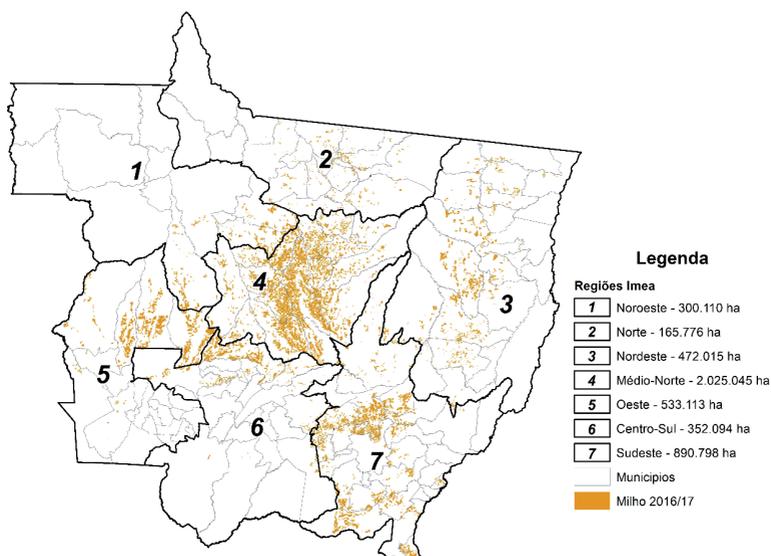


Figura 1. Área cultivada por região, em ha, com milho safrinha no Estado do Mato Grosso em 2017.

As regiões apresentam, no geral, chuvas bem distribuídas e temperaturas favoráveis para agricultura. As altitudes variam de 400 a 800 m. Em regiões de maior altitude, as temperaturas durante o dia são altas e à noite são mais amenas, o que possibilita maior potencial produtivo das culturas. Regiões de menor altitude apresentam temperaturas diurnas e noturnas mais elevadas e conseqüentemente ocasionam menor potencial produtivo. Boa parte do relevo se caracteriza por ser plano com leves ondulações, propício à prática da mecanização agrícola, com áreas de transição entre Cerrado e Floresta Amazônica.

Os solos são de textura variável, sendo a maior parte de textura média, tendo sido classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. As áreas de expansão em cultivo de pastagem se caracterizam por serem solos ácidos e pobres, necessitando de correções. Geralmente são cultivados com arroz e soja como cultura de verão, para posteriormente ser implantado o milho em sucessão. Predominantemente, o milho safrinha no Estado de Mato Grosso se caracteriza por ser semeado em sucessão à soja de ciclo precoce.

O principal fator regional responsável pela diminuição do potencial produtivo das lavouras é o déficit hídrico em estádios mais avançados de desenvolvimento do milho safrinha. Um dos motivos para este fato é o atraso na implantação e/ou na colheita da lavoura de soja. De acordo com o Circuito Tecnológico (CT) – Milho 2017, a maior porcentagem das áreas semeadas com milho safrinha variou na seguinte proporção: até 500 ha (30%), de 500 a 1.000 ha (24%), de 1.000 a 1.500 ha (18%), e acima de 1.500 ha (28%).

A área de milho safrinha está diretamente relacionada com a expectativa de mercado, associada à capacidade operacional de semeio do milho na época recomendada. O milho se caracteriza como uma alternativa interessante de sucessão à soja pela quebra do ciclo de algumas pragas e doenças, pela produção de palhada e pela ciclagem de nutrientes, dentre outros motivos.

Quando o milho safrinha é semeado após a soja, o percentual de área da leguminosa ocupada pelo milho em sucessão varia, aproximadamente, de 40 a 50%. Pequena porcentagem das áreas cultivadas com soja fica em pousio (5 a 10%), sendo o restante semeado, principalmente, com milheto, crotalária e braquiária.

Não há interrupção do cultivo sucessivo de soja e do milho safrinha e sim redução da porcentagem de área da soja ocupada com milho. Isto está diretamente relacionado ao zoneamento agrícola, ao preço do grão, à infestação de nematoides e à compactação de solo.

No Mato Grosso, há baixa adoção de milho safrinha consorciado com braquiária, porém observa-se aumento gradativo ao longo dos anos. Neste sistema, há o predomínio de semeio da braquiária a lanço antes da semeadura do milho. Nessa operação usa-se espalhador de calcário ou moto-semeadora ou a semeadura simultânea na caixa de adubo. Em menor proporção, alguns produtores vêm tentando realizar o consórcio do milho com a crotalária, porém neste caso há dificuldade do controle da soja guaxa no milho. A adoção de terceira caixa e a deposição das sementes em linha intercalar existe, porém é mais baixa em relação às demais modalidades de cultivo.

Tecnologia de Produção

Semeadura e Cultivares

O sistema de preparo do solo que predomina é o cultivo mínimo (limita-se ao sulco de semeadura, procedendo-se à semeadura, à adubação e, eventualmente, à aplicação de herbicidas em uma única operação). Erroneamente classifica-se esta operação como plantio direto por grande parte dos produtores. Neste sistema, não há rotação de culturas e sim a sucessão de cultivo soja-milho.

Os fatores que afetam diretamente a época de semeadura do milho no período da safrinha são a época de semeadura da soja (está relacionada ao início do período chuvoso) e a época da colheita (excesso de chuvas pode ocasionar atraso na semeadura do milho). Por causa da grande dimensão do Estado de Mato Grosso, pode haver variações nas datas de implantação da cultura. De maneira geral, a implantação do milho safrinha ocorre de janeiro a 15 de fevereiro – baixo risco; 15 a 25 de fevereiro - médio risco; e de 25 de fevereiro em diante - alto risco de redução do potencial produtivo, por ocorrer déficit hídrico.

A dessecação para uniformizar a secagem das plantas é um procedimento muito utilizado para antecipar a colheita da cultura da soja. O herbicida utilizado é diquat, e as doses podem variar de 1,0 a 1,5 L ha⁻¹ do produto comercial.

Os tipos de híbridos mais utilizados são híbridos simples (70-80%), híbridos triplos (20 a 30%), híbridos duplos e variedades (10 a 5%) e sementes salvas (menor que 5%). Aproximadamente 70 a 80% do milho semeado na safrinha no Mato Grosso é

transgênico. As tecnologias mais utilizadas atualmente são, por ordem de importância, a resistência a praga e herbicida, resistência a praga e apenas resistência a herbicida, sendo esta última usada como áreas de refúgio.

Em pesquisa realizada pela Aprosoja com 394 associados, foram citadas 174 cultivares de milho cultivadas no Mato Grosso. Destacaram-se como as dez mais citadas: DKB 390 (Dekalb), RB 9110 PRO2 (Riber KWS), MG 580 (Morgan), FÓRMULA (Syngenta), 2B688 (Dow AgroSciences), 30F53VYH (Pioneer), MG 652 (Morgan) e AG 8061 (Agrocere). O número médio de híbridos por propriedade é de três a cinco, variando bastante em função do tamanho das propriedades. Propriedades maiores tendem a apresentar maior diversificação de materiais. De acordo com o CT – Milho 2017, os principais fatores elencados pelos produtores na escolha das cultivares são: potencial produtivo, resistência a pragas e doenças, preço da semente, época de semeadura e resistência a herbicidas.

Geralmente, usa-se população de plantas de 55.000 a 60.000 plantas ha⁻¹ e espaçamentos entrelinhas de 0,45 e 0,5 m, os mesmos para a cultura da soja. Poucos produtores adotam espaçamento maiores que 0,5 m.

Adubação

A adubação de semeadura está diretamente relacionada a época de implantação da cultura, expectativa de preço do grão, nível de fertilidade do solo e produtividade esperada. Esta prática pode variar entre as regiões do estado (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Em grande parcela do Médio Norte utiliza-se somente NK no milho safrinha e todo o fósforo na semeadura da soja ou, em algumas regiões, tendência de aplicar todo PK na soja, realizando somente adubação nitrogenada no milho. Em geral, nas semeaduras realizadas dentro do zoneamento agrícola adequado, tem-se verificado também o uso da adubação com NPK. Na maioria das propriedades utilizam-se as doses de 61 a 90 kg ha⁻¹ de N, 0 a 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 31 a 60 kg ha⁻¹ de K₂O, quando são incluídos na adubação do milho safrinha. Percebe-se o incremento na utilização de enxofre.

A adubação é feita, predominantemente, a lanço. Conforme Kappes (2015a), diante do cenário atual, em que o rendimento operacional tem falado mais alto, adubações no sulco de semeadura do milho safrinha estão cada vez mais escassas, restando apenas as adubações de cobertura. Além disso, tem o fato de que as adubações tradicionais da soja, acumulando fósforo ao longo dos anos, elevaram os teores do nutriente no solo para níveis adequados.

Nas áreas de milho safrinha quase sempre é feita a adubação de cobertura. Dentre as propriedades analisadas, observaram-se os seguintes parcelamentos do uso do nitrogênio: semeadura e única cobertura; semeadura e duas coberturas; duas coberturas; e toda dose em uma única cobertura. As épocas da adubação de cobertura são feitas da seguinte forma: entre 3 a 6 folhas completamente desenvolvidas (64%); até 3 e de 3 a 6 folhas completamente desenvolvidas (14%); até 3 folhas completamente desenvolvidas (8%) e entre 3 e 6 e após 6 folhas completamente desenvolvidas (7%). A ureia foi a fonte de nitrogênio mais usada, com dose média de 177 kg ha⁻¹.

Micronutrientes quando aplicados são utilizados a lanço junto com a adubação de semeadura e/ou cobertura, mas não é uma prática comum nas áreas de cultivo de milho safrinha. A proporção das lavouras com uso de inoculantes biológicos formulados é de aproximadamente 5 a 10%. Esta prática é feita, a priori, no tratamento de sementes e pela pulverização em pós-emergência inicial do milho safrinha.

Controle de Plantas Daninhas

Atualmente, o nível de controle de plantas daninhas das lavouras de milho safrinha do Estado de Mato Grosso apresenta-se satisfatório. Dentre as dez principais espécies, pode-se destacar milhã (*Digitaria horizontalis*), capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), capim-papuã (*Urochloa plantaginea*), trapoeraba (*Commelina* spp), corda-de-viola (*Ipomoea* spp), picão-preto (*Bidens* spp), trapoerabinha (*Murdania nudiflora*), capim-custódio (*Pennisetum setosum*), erva-quente (*Spemarcoce latifolia*), capim-amargoso (*Digitaria insularis*), erva-de-santa-luzia (*Chamaescy hirta*), poia-branca (*Richardia brasiliensis*) e fedegoso (*Senna obtusifolia*). De maneira geral, os produtores não mencionam dificuldade no controle das espécies infestantes. Porém, percebe-se o aumento da frequência de espécies resistentes ao herbicida glifosato.

Faz-se controle químico das plantas daninhas, consistindo na aplicação de herbicida entre os estádios de duas a seis folhas completamente expandidas. Não se efetua o controle mecânico de plantas daninhas que não foram controladas com herbicidas. O controle é realizado com uso de herbicidas pós-emergentes. Destacam-se como os mais utilizados, em ordem decrescente, as misturas de atrazine + glifosato, atrazine + tembotrione, atrazine + nicossulfuron e atrazine + mesotrione.

No sistema soja-milho safrinha, podem ser realizadas até três aplicações de glifosato, sendo constatado o uso em dessecação pré-semeadura da soja, na primeira aplicação em pós-emergência (estádio de duas folhas completamente desenvolvidas), nos estádios de quatro ou seis folhas completamente desenvolvidas.

Neste sentido, o uso contínuo de glifosato no sistema soja-milho safrinha vem favorecendo o aumento da frequência de espécies resistentes ao herbicida, como: trapoeraba, trapoerabinha, erva-quente, poia-branca e corda-de-viola. Dentre as espécies que apresentam biótipos resistentes, percebe-se o aumento da incidência de biótipos de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e buva (*Conyza* spp), porém ainda não se apresentam amplamente distribuídos pelo estado. A emergência da buva ocorre mais ao final do ciclo do milho safrinha, sendo problema, principalmente, para a cultura da soja.

Há muitas falhas de aplicação dos herbicidas em lavouras que permanecem com alta infestação de plantas daninhas que erroneamente vêm sendo atribuídas à presença de biótipos resistentes, sobretudo de capim-amargoso e capim-pé-galinha.

Controle de Pragas

Na última safrinha, houve menor incidência de pragas do que na safra passada, o que pode ser atribuído, principalmente, ao regime hídrico favorável ao desenvolvimento da cultura. A principal praga é a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), seguida por percevejo (*Dichelops* spp.) e pela lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*). Percebe-se o aumento da incidência de insetos sugadores (pulgões) ao longo das safras.

O principal método de controle de pragas é o químico. Alguns poucos produtores fazem também o uso de inseticidas biológicos para o controle de lagarta. Ainda há baixa adesão ao monitoramento integrado e pragas, e a tomada de decisão é feita em estádios de desenvolvimento pré-estabelecidos.

O percevejo é considerado uma praga relevante no milho safrinha no Mato Grosso. Neste caso, adotou-se o monitoramento da praga na cultura da soja, a realização do tratamento de sementes de milho com inseticidas específicos e a sua aplicação na parte aérea nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Os danos causados por cigarrinha são específicos em determinadas localidades onde se tem a semeadura de milho durante o período de safra e safrinha. É importante ressaltar que a porcentagem de milho cultivado no verão no estado é muito baixa, estando restrito a áreas produtoras de milho semente e de produção de milho especial.

No caso das lavouras transgênicas com tecnologia Bt, a eficiência de controle da lagarta-do-cartucho está relacionada diretamente ao déficit hídrico que vai afetar a expressão da proteína Bt. De maneira geral, materiais com as tecnologias Viptera e Leptera se destacam como os mais eficientes, seguidos por aqueles que contêm a tecnologia PRO e PW. Ressalta-se que as tecnologias YG e HX perderam eficiência no controle da lagarta-do-cartucho.

O número de pulverizações para o controle químico de lagarta também está diretamente relacionado ao regime hídrico. Neste ano, como teve bom regime hídrico, foi constatado o seguinte

número de pulverizações, por tecnologia, para controle de *Spodoptera*: Viptera e Leptera: nenhuma aplicação; PRO: uma a duas aplicações; PW: duas a três aplicações; convencional: três a quatro aplicações.

Dentre os produtos mais utilizados nas aplicações na parte aérea para o controle das pragas, pode-se destacar: metomil, clorantraniliprole, clorpirifos, acefato e lambda cialotrine + tiametoxan. Observe-se tendência de aumento das doses e de misturas de diferentes inseticidas. A maioria dos produtores realizam o tratamento de sementes ou compram as sementes pré-tratadas. Os inseticidas mais utilizados para estes fins são tiamethoxan e imidacloprido.

Controle de Doenças

As doenças foliares no milho safrinha ocorrem em função de cultivares e da região de cultivo, com destaque para maiores ocorrências de mancha-branca e cercosporiose. O enfezamento do milho não é frequente, e as doenças de colmos e espigas ocorrem em baixa frequência.

Os métodos de manejo de doenças mais adotadas são o uso de cultivares resistentes e a aplicação de fungicidas, em estádios pré-estabelecidos. O número de pulverizações com fungicidas varia em função da expectativa de preço dos grãos. Neste ano, como havia expectativa de preço bom, 43% dos produtores fizeram uma aplicação, 51% duas e 6% três aplicações de fungicidas, com predomínio de aplicação terrestre. A maioria das aplicações são realizadas no pré-pendoamento e no início do enchimento de grãos, e os fungicidas mais utilizados são azoxistrobina + ciproconazol, epoxiconazol + piraclostrobina e tebuconazol + trifloxistrobina.

Colheita

A colheita do milho safrinha ocorre a partir de meados de junho e se estende até o mês de agosto. O teor de umidade nos grãos definidos para iniciar a colheita é de 16 a 13%.

Os grãos são de boa qualidade, em razão da ocorrência de seca no período compreendido entre meados de maio e setembro. Chuvas neste período podem aumentar a incidência de grãos ardidos, principalmente em materiais que tiveram as espigas atacadas por lagartas. Armazenamento de milho fora dos silos também contribui para diminuição da qualidade de grãos, ocasionada por altas temperaturas e a ocorrência de chuvas.

Comercialização

No Mato Grosso, há sérios problemas de armazenamento de milho. Parte da produção, colhida na safrinha, é vendida no mercado futuro e a outra parte é vendida durante a safra. Neste cenário, poucos produtores possuem infraestrutura para armazenar e realizar a venda posterior. Isto reflete na grande dificuldade em se conseguir preço mínimo. Boa parte do milho produzido no Mato Grosso é exportado e negociado com cerealistas e fabricantes de ração de outros estados.

Também é importante enfatizar que há demanda local no Mato Grosso pela produção. Destaca-se o consumo dos grãos pelas usinas de produção de etanol e pelas granjas de aves e suínos. No entanto, há sempre o problema do preço a ser pago ao produtor, que é influenciado pela oferta e demanda no estado.

Goiás

Caracterização da Região e da Sucessão de Culturas

As regiões produtoras de milho safrinha se concentram na região Sudoeste de Goiás. Nestas, a temperatura média anual é de 26 °C, variando de 14 a 36 °C, com regime de chuvas concentrado entre os meses de outubro até primeira quinzena de abril. Ao longo dos outros meses ocorrem chuvas esporádicas, com regime pluviométrico de 1.800 mm ao ano. A topografia favorece o desenvolvimento da agricultura, sendo que grande parte do relevo é plano, com mínima declividade, e altitude variando de 400 a 1.000 m nas áreas de cultivo de milho safrinha.

Os solos na região de cultivo são caracterizados como Latossolos, com textura predominantemente argilosa. Solos de textura média (15 a 35% de argila) ocorrem nos municípios de Santa Helena, Santo Antônio de Barra e Acreúna. Na região de Aparecida do Rio Doce e Caçu, encontram-se solos com textura predominantemente arenosa, e em Jataí e Caiapônia, encontram-se solos mistos de fertilidade natural baixa. Com o decorrer dos períodos agrícolas, o produtor melhorou a fertilidade dos solos com uso de calcário, gesso e adubações com fósforo e potássio. Consequentemente, houve elevação dos níveis de P, K e S e micronutrientes, possibilitando assim obter altas produtividades.

Alguns fatores podem limitar a obtenção de maiores produtividades. Como o período de chuvas é restrito, a semeadura ocorre até meados de fevereiro. A implantação do milho safrinha a partir do dia 20 de fevereiro é arriscada, sendo

que quando se opta por avançar este período menores serão as produtividades. Outros fatores são limitantes para obtenção de altas produtividades, como a plantabilidade, ocorrência de pragas de solo e de nematoides, além de lagartas dos gêneros *Spodoptera* e *Helicoverpa*, compactação do solo e, nas últimas duas safras, a infestação de cigarrinha *Dalbulus maydis*.

As áreas de cultivo de milho safrinha na região Sudoeste são compostas, na sua maioria, por grandes propriedades (acima de 450 ha) em 55% da área. O valor médio por hectare é de R\$ 30.000,00. Dentre as culturas que antecedem o milho safrinha, a soja é a principal, seguida do feijão e do milho verão, com menor expressão.

Neste sistema, a produtividade do milho na safrinha é crescente (Conab, 2017). Quando o clima é favorável à cultura, é possível obter excelentes resultados. O investimento em fertilidade do solo, novos híbridos adaptados à região e novas tecnologias de implantação são medidas essenciais para incrementos de produtividade na safrinha. Somam-se também os benefícios para a cultura subsequente, como o fornecimento de palhada para cobertura do solo, o aumento da matéria orgânica e a ciclagem de nutriente, viabilizando assim o sistema plantio direto.

Na região, não há dúvidas das vantagens do plantio direto sobre a palha. A sucessão de soja e milho ocorre em 80% das áreas, sendo utilizada soja de ciclo precoce (ciclo médio de 105 dias). A colheita é realizada a partir de janeiro, possibilitando que a semeadura do milho ocorra em período com volume pluviométrico suficiente para desenvolvimento normal da cultura.

As áreas em que não ocorre implantação do milho após a colheita da soja são manejadas com culturas de cobertura, como milheto, crotalária, ou deixadas em pousio. Alguns produtores optam pelo revolvimento do solo a cada 5 ou 6 anos, com a justificativa de se efetuar a descompactação do solo e a correção da fertilidade em maiores profundidades, criando melhores condições para o desenvolvimento radicular e manejo de pragas do solo. Esse manejo encontra algumas resistências, pois vai contra os princípios do plantio direto, em que se prioriza manter a cobertura promovida pela palhada na superfície do solo, com o objetivo de aumentar a matéria orgânica e os microrganismos do solo. Alguns produtores alegam que este manejo para tais finalidades pode ser feito sem o revolvimento do solo, com culturas que possuem maior volume de raízes e que possuem substâncias fitotóxicas nas raízes, reduzindo pragas de solo, e até mesmo com aquelas que ciclam nutrientes, como milheto, crotalária e braquiária.

O consórcio de milho e braquiária na safrinha é restrito aos produtores que praticam a atividade pecuária após a colheita do milho safrinha ou sistema de Integração Lavoura-Pecuária. O consórcio com forrageira traz inúmeros benefícios para a cultura subsequente, no caso, a soja. Em contrapartida, muitas propriedades não estão preparadas para trabalhar com o consórcio, ou até mesmo não têm interesse, desconhecendo seus benefícios e temendo dificuldades nas operações de implantação e de manejo.

Há a necessidade de muitas adaptações para a adoção da Integração Lavoura-Pecuária. Em muitos casos, o manejo incorreto da braquiária promove redução de produtividade do

milho. Assim, o produtor entende que o risco de adoção do sistema é maior que os benefícios.

Tecnologia de Produção

Semeadura e Cultivares

O plantio direto é o sistema de cultivo mais utilizado no Sudoeste goiano, sendo o único revolvimento do solo feito pelos carrinhos da semeadora no momento da semeadura. É comum encontrar áreas com mais de 20 anos de adoção do sistema. Quando há necessidade, é feita a aplicação de calcário na superfície do solo com uso de grade niveladora fechada para fazer com que o calcário entre em contato com o solo. O sistema de cultivo convencional é empregado nas áreas de abertura ou por adeptos que entendem que há a necessidade de correção do solo subsuperficial utilizando calcário, gesso, fertilizantes fosfatados e potássicos.

A implantação do milho safrinha inicia-se na segunda quinzena de janeiro, prolongando-se até meados de março, sendo que a maior proporção ocorre entre os dias 10 e 20 de fevereiro (40 a 60% da área). O período adequado para semeadura do milho safrinha é até dia 20 de fevereiro. Após esta data é recomendado optar por outra cultura, como o sorgo, mas a opção pelo milho é estimulada quando o cereal atinge bons preços de mercado.

Além de utilizar cultivares precoces, muitos produtores adotam a dessecação da soja com o intuito de antecipar a colheita e uniformizar as plantas. No entanto, esta prática é vista como uma tomada de decisão cautelosa, pois ao errar a época de dessecação, pode-se perder produtividade. O ingrediente

ativo mais utilizado é o paraquat (1,0 a 2,0 L ha⁻¹). Outras opções podem ser utilizadas, como diquat (1,0 a 2,0 L ha⁻¹) e carfentrazona (0,03 a 0,05 L ha⁻¹).

A escolha do híbrido é muito importante para se ter aumentos de produtividade no milho safrinha. Grande parte dos produtores negociam e compram as cultivares 7 a 10 meses antes da implantação da cultura. Grande parte opta por híbrido simples (40 a 50%), 25% pelo uso de híbridos duplos e 25% pelos híbridos triplos. Na safrinha de 2017, 50 a 60% das áreas foram cultivadas com híbridos transgênicos e o restante com híbridos convencionais. Aproximadamente, 30% são híbridos com tecnologia RR.

No que diz respeito à tecnologia no manejo de pragas, estima-se que 35% são com tecnologia PRO, 50% com tecnologia PW e 15% com tecnologia Leptra e Viptera. Há também uma grande parte da área sendo cultivada com tecnologias Hérculex, Intrasect e TL, não sendo possível quantificar os dados.

O número de híbridos por propriedade está relacionado ao tamanho de cada gleba e até mesmo à uniformidade da área de cultivo de cada propriedade. Na região, utiliza-se de 3 a 6 híbridos por propriedade. A produtividade é o fator importante para a escolha do híbrido, mas não é o único. Leva-se em consideração a susceptibilidade a doenças e o custo de aquisição das sementes. Cada produtor escolhe seus híbridos de forma peculiar, mas sempre buscando rentabilidade. Na escolha, leva-se em consideração principalmente os resultados de pesquisa de competição de híbridos promovidos por grandes grupos de produtores e instituições de pesquisa, nos quais são avaliados a tolerância a doenças e pragas,

desempenho produtivo do híbrido por região, acamamento, entre outros. De posse destes resultados, parte-se para a negociação dos híbridos, buscando preço da semente que se encaixa no custo de produção.

A população de plantas do milho safrinha depende do híbrido e da época de implantação, seguindo a recomendação de cada empresa. Quando a semeadura é realizada na segunda quinzena de janeiro e início de fevereiro, usa-se maior população de plantas (64.000 a 68.000 plantas ha⁻¹). Quanto mais se atrasa a semeadura, mais se reduz a população, adotando-se em torno de 50.000 a 54.000 plantas ha⁻¹ nas semeaduras mais tardias. A população média é de 56.000 a 60.000 plantas ha⁻¹. O espaçamento mais utilizado é o de 0,5 m entrelinhas, sendo comum encontrar de 0,45 m até 0,75 m.

A qualidade da semeadura é boa. A região é tecnificada e possui grande capacidade operacional. Mas ainda há muito que melhorar e alguns requisitos devem ser observados na implantação do milho safrinha, destacando-se entre outros a velocidade e profundidade de semeadura e o uso de discos compatíveis para cada tipo de sementes.

Adubação

Na safrinha, o investimento em adubação é moderado. Utiliza-se aproximadamente 60 kg ha⁻¹ de fósforo e de potássio e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo quase 100% distribuídos a lanço. Os fertilizantes mais utilizados são os formulados. A aplicação de fósforo e potássio é feita antes da implantação do milho safrinha e o nitrogênio é aplicado quando as plantas de milho se encontram com quatro folhas completamente desenvolvidas.

Grandes números de produtores estão efetuando a adubação de sistema, onde toda a adubação contendo fósforo e potássio é distribuída antes da implantação da cultura da soja. Esta operação é feita a lanço entre os meses de agosto e outubro. Neste período, os funcionários estão ociosos nas propriedades, podendo distribuir melhor as tarefas e otimizar as máquinas e implementos agrícolas no local. Nessa operação, utilizam-se matérias-primas ou formulados, totalizando média de 100 a 120 kg ha⁻¹ de fósforo e 120 a 140 kg ha⁻¹ de potássio, para as culturas da soja e do milho. Neste caso, apenas a adubação nitrogenada é realizada no milho em diferentes estádios da planta após a semeadura.

Os produtores que têm adotado a adubação de sistema justificam a redução do número de operações e a melhor distribuição das atividades durante o ano na propriedade. Em contrapartida, o gasto com fertilizantes em um único período é grande, pois é comprado de uma única vez. A inserção de fórmulas ou matérias-primas contendo enxofre é crescente e os benefícios para a cultura do milho safrinha são expressivos.

O fornecimento de micronutrientes não é realizado regularmente, sendo inserido no fertilizante formulado ou via foliar quando necessário. Os inoculantes biológicos são poucos utilizados, mas é uma prática que tem crescido na região. Quando se adota esta tecnologia, a adoção é feita via tratamento de sementes ou aplicação no sulco de semeadura.

Controle de Plantas Daninhas

O controle de ervas daninhas no milho inicia-se na dessecação da cultura da soja na maioria das propriedades. Ao utilizar o paraquat ou diquat, obtém-se menor controle com pouca

diminuição de ervas daninhas. Para os híbridos de milho convencionais ou não tolerantes ao glifosato, utilizam-se herbicidas seletivos à cultura para controle de ervas de folha estreita. Neste caso, são utilizados o tebotrione ($0,24 \text{ L ha}^{-1}$), o mesotrione ($0,24 \text{ L ha}^{-1}$) e o nicossulfuron ($0,3$ a $0,5 \text{ L ha}^{-1}$). Se o híbrido for RR, utiliza-se o glifosato ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$ a $4,0 \text{ L ha}^{-1}$). Caso o híbrido contenha a tecnologia Liberty Link, emprega-se o glufosinato de amônio ($1,5 \text{ L ha}^{-1}$), porém em menor proporção por causa do custo elevado do produto em relação à atrazina. Para controle de soja RR e outras dicotiledôneas, utiliza-se a atrazina nas doses de $2,0$ a $2,5 \text{ L ha}^{-1}$ de produto comercial. Nas propriedades em que não houver soja e o milho for RR, é utilizado somente o glifosato, pois possui amplo aspecto de controle, tanto para folha estreita como folha larga.

Dentre as ervas de difícil controle que infestam a cultura do milho na safrinha, pode-se destacar o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), a trapoeraba (*Commelina benghalensis*), a erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e a poaia-branca (*Richardia brasiliensis*). Outra erva de ocorrência comum na região é o capim-custódio (*Pennisetum setosum*), sendo este facilmente controlado por glifosato, mas com tolerância aos herbicidas mesotrione e tebotrione, mesmo quando aplicados em estádios adequados. Em função das ervas daninhas presentes na área, é possível escolher a tecnologia inserida nos híbridos que melhor se adapta ao manejo, facilitando assim o controle com herbicidas.

Com advento da tecnologia RR para a cultura do milho, a utilização de glifosato cresceu muito. Consequentemente, houve seleção de ervas daninhas de difícil controle, e algumas já estão tolerantes ao herbicida em questão, como o capim-

pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*). Neste caso, alguns produtores utilizam herbicidas em pré-emergência, como o S-Metalacloro ($1,5 \text{ L ha}^{-1}$), obtendo boa eficiência quando há condições adequadas de umidade no solo. Como benefício, há redução na emergência das ervas daninhas, proporcionando à cultura condições mais adequadas para controle dos herbicidas usados em pós-emergência.

Controle de Pragas

As pragas de parte aérea mais comuns e importantes na região são as lagartas do gênero *Spodoptera* e *Helicoverpa*, os pulgões, cigarrinhas e as pragas de solo, como os percevejos castanhos e corós. Para controle daquelas que atacam a parte aérea, utiliza-se o manejo químico, sendo para controle de lagartas o uso dos inseticidas metomil, clorpirifós, benzoato, lufenuron, espinosade, espinetoram, entre outros. Para controle de cigarrinhas e pulgões, são empregados os inseticidas acefato, imidacloprid, tiametoxan + lambda-cialotrina, bifentrina, imidacloprid + bifentrina, entre outros.

Na safrinha 2017, a cigarrinha *Dalbulus maydis* causou grande preocupação e danos à cultura do milho, onerando o custo de produção. Com o aumento das áreas de milho verão, aumentou a pressão desta praga para o milho safrinha, e como há no mercado diversos híbridos sem informação quanto à tolerância à cigarrinha, o volume de defensivos para o controle desta praga também aumentou. É importante destacar que a maioria dos produtos utilizados teve eficácia no controle da cigarrinha, porém a reinfestação foi alta, levando a reaplicações em menores intervalos (aproximadamente 5 a 7 dias).

Apesar da utilização de híbridos com tecnologia para controle de lagartas, na maior parte delas houve a necessidade de realizar aplicações com objetivo de controle dessas pragas. Híbridos com tecnologias Leptra e Víptera obtiveram melhor resultado tolerando uma pressão maior de ataque de lagartas. Nessas duas tecnologias raramente foi necessário realizar aplicação de inseticida. Outras tecnologias, como PRO, PW, Hx e TL, não resistiram à pressão e foi necessária, no mínimo, uma aplicação com produto específico para controle de lagartas. Quando se comparam milhos convencionais com milhos Bt, em número de aplicações, observa-se 3 a 5 aplicações para os milhos convencionais e até 2 aplicações para os híbridos com tecnologia Bt.

O tratamento de sementes de milho para o controle de pragas é realizado por 95% dos produtores rurais da região. Além disto, utiliza-se o inseticida no sulco de semeadura com objetivo de controlar pragas como percevejos castanhos e corós.

Controle de Doenças

Na região sudoeste de Goiás, tem sido registrada a ocorrência de ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*), cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*), ferrugem-branca (*Puccinia sorghi*), helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*), mancha-de-bipolares (*Bipolaris maydis*), diplodia (*Stenocarpella macrospora*), antracnose (*Colletotrichum graminicola*) e mancha-branca (*Phaeosphaeria*). Destas, a ferrugem-polissora, a helmintosporiose e a mancha-branca são mais frequentes.

Nas últimas duas safrinhas, os problemas com cigarrinha foram mais evidentes. O problema era mais comum em áreas de baixa altitude. Na última safrinha, houve infestação da praga tanto

em regiões de baixa como de alta altitude. Conseqüentemente, houve problemas com enfezamentos (*molicutes*) e viroses (*MRFV*), dos quais o vetor foi a cigarrinha do milho. Neste ano, o comportamento dos híbridos foi avaliado quanto à suscetibilidade à praga e possivelmente muitos deles serão menos cultivados em razão da grande suscetibilidade ao enfezamento.

O método de controle de doenças mais utilizado é o químico, com uso dos grupos químicos dos triazóis, estrubilirinas e carbendazins. Dentro destes, destacam-se as misturas de azoxistrobina + ciproconazole, piraclostrobina + epoxiconazol, picoxistrobina + ciproconazol e trifloxistrobina + tebuconazole, além dos ingredientes ativos carbendazim, tiofanato metílico e até mesmo fungicidas protetores como mancozeb, dióxido de cobre e cloratalonil. Ao associar dois grupos químicos diferentes, tem-se obtido melhor controle das doenças.

O momento de iniciar a aplicação depende muito das avaliações de campo (severidade), da escolha do híbrido e das condições climáticas no desenvolvimento da cultura. Em média, é feita pelo menos uma aplicação de fungicida no milho safrinha. Como em 2017 o clima foi favorável ao desenvolvimento do milho e também às doenças, houve, em muitos casos, a necessidade de maior número de aplicações de fungicidas.

As doses recomendadas normalmente são maiores do que aquelas quando se utiliza o mesmo produto para a cultura da soja, respeitando o posicionamento das empresas. Quando se opta por fazer somente uma aplicação de fungicida, ela é realizada no pré-pendoamento (Vt), ao passo que em duas aplicações, a primeira é feita com as plantas com 8 a 9 folhas

desenvolvidas, e a segunda em pós-pendoamento, após o florescimento.

Colheita

A colheita do milho safrinha inicia-se na segunda quinzena de junho, sendo concentrada no mês de julho e na primeira quinzena de agosto. A colheita se inicia quando os grãos atingem 22 a 25% de umidade, principalmente os produtores que possuem armazém na propriedade rural. Isto é pelo fato de os armazéns ou cooperativas não receberem o produto acima de 20% de umidade. Como neste período não há ocorrência de chuvas, os grãos colhidos possuem boa qualidade, e raramente ocorrem problemas com grãos ardidos.

A limitada capacidade de recebimento dos armazéns na região está levando os produtores a utilizarem silos bolsas para armazenar os grãos. Isto tem feito os produtores deixarem o milho na lavoura até os grãos atingirem 14% de umidade, a qual é adequada para o armazenamento em silos bolsas.

Comercialização

A comercialização do milho safrinha é feita de várias formas. Há produtores que vendem antecipadamente e têm contratos de venda e custos a cumprir. Também há aqueles que optam por armazenar e esperar os preços subirem, pois no momento da colheita se registram os menores preços, pelo maior volume de grãos colhidos ao mesmo tempo na região. A liquidez do produto é grande, mas os preços de venda ficam, muitas vezes, abaixo dos custos de produção.

A maior parte do milho colhido é comercializado para exportação. Outra parte abastece as agroindústrias da região. Há também produtores que utilizam os grãos para fabricação de ração para alimentação de aves, bovinos e suínos. Como os preços para venda não estão favoráveis, muitos produtores optam por armazenar os grãos em silos bolsas na propriedade. Logo, a opção por armazenamento nos armazéns gerais é muito limitada, o que implica atraso na colheita.

Maranhão, Piauí e Tocantins (Mapito)

Caracterização da Região e da Sucessão de Culturas

A temperatura média da região é de 26 °C, com chuvas que variam entre 1.300 e 2.300 mm dependendo da microrregião. A altitude varia entre 350 e 650 m, sendo que 80% das áreas agrícolas encontram-se nas altitudes mais baixas entre 350 a 450 m.

Os solos da região variam entre solos arenosos, 18 a 30%; médios, 30 a 40% e argilosos, 40 a 55%. A ocorrência de plintosolos também é muito frequente principalmente no Estado do Tocantins. Solos são de baixa fertilidade e de matéria orgânica baixa, na maioria das áreas, com raras exceções.

A irregularidade climática é hoje o fator de maior influência no potencial produtivo, sendo atingidas produtividades semelhantes aos estados da Bahia e do Mato Grosso quando a frequência hídrica e de luminosidade ocorre de forma positiva. Também em menor escala, mas não menos preocupante,

é o aumento da frequência de áreas com nematoides, principalmente *Pratylenchus brachyurus*.

As áreas nas regiões oscilam em um mínimo de 350 hectares podendo atingir 50 mil hectares. Podemos determinar uma frequência média de 1.500 hectares por propriedade economicamente viável e em pleno cultivo de soja e milho. As grandes distâncias e logística inviabilizam propriedades menores quando longe de cidades polo.

A cultura que antecede o milho safrinha é a soja. Em situações pontuais, em proporção muito baixa, o feijão-caupí, pois esta sucessão proporciona um preço no feijão altamente rentável.

A necessidade de se cultivar a safrinha com milho passou a ser uma questão de sobrevivência econômica da região. Os fatores que interferem e põem em risco a sobrevivência desta prática são os elevados custos de implantação e a estreita janela de semeadura da soja, pois poucas microrregiões iniciam a semeadura da soja em outubro, deixando a maioria das regiões para semeadura de soja em meados de novembro, colocando em risco os resultados do milho safrinha, pois em função da janela a semeadura fica muito tardia, limitando as produtividades.

O semeio após a soja e o percentual de área dessa leguminosa ocupada pelo milho safrinha em sucessão depende das microrregiões. Em algumas regiões, por causa do custo do milho e pela janela de semeadura ser muito estreita, não é viável apostar em milho safrinha. Algumas propriedades atingem 100% de semeadura de milho safrinha e outras não

conseguem e partem para a semeadura de sorgo ou feijão-caupí ou milheto.

A prática de milho safrinha expandiu-se nos últimos seis anos com o ciclo de chuvas que favoreceram nos anos 2011, 2012, 2013, 2014, que proporcionaram bons resultados. Poucos produtores estão quebrando esta sequência, apenas os que partem para rotação de cultura com milho safra verão, o que tem dado bons resultados, embora seja uma quantidade pequena de produtores. Segundo Montechese (2013), os principais municípios produtores de milho safrinha do Maranhão são Balsas, Riachão, Tasso Fragoso, Alto Parnaíba e Carolina. No Tocantins, são Campos Lindos, Guaraí, Pedro Afonso, Porto Nacional, Silvanópolis e Santa Rosa. No Piauí, o principal produtor é o município de Baixa Grande do Ribeiro.

O consórcio de milho safrinha com *Brachiaria ruziziensis* é viável e necessário, por possibilitar a antecipação da semeadura da soja em outubro com menos volume de água. Na grande maioria, a semeadura está sendo realizada a lanço em pré-semeadura do milho safrinha. Outros produtores utilizam a terceira caixa de semeadura ou misturado em um volume baixo de fertilizante na linha de semeadura. A safrinha alternativa tem tido maior sucesso, além de utilizar cerca de 30% do volume de semente quando comparada com a distribuição a lanço antes da semeadura. A proporção de uso da *Brachiaria ruziziensis* ainda é baixa, cerca de 20 a 30% das áreas.

Como já mencionado, a utilização da braquiária apresenta como vantagem a viabilização da semeadura da soja em outubro com menor volume pluvial. Possibilita ainda a ciclagem de nutrientes e exploração de sistema radicular mais profundo,

melhorando o ambiente para a soja, distribuindo nutrientes no perfil através da raiz da gramínea e multiplicando fungos micorrízicos no sistema radicular. Com isso, têm sido obtidos resultados muito interessantes no controle de nematoides, ao contrário de resultados divulgados por alguns pesquisadores.

Tecnologia de Produção

Semeadura e Cultivares

O sistema de semeadura de soja nas regiões em questão é acima de 70% de cultivo mínimo. Em virtude da janela de semeadura e do desinteresse ou desinformação do agricultor, ainda falta muito para o sistema de semeadura direta ser implantado na sua filosofia verdadeira.

O milho safrinha é semeado diretamente na palhada de soja, sem revolvimento. A época de semeadura do milho safrinha ocorre do segundo decêndio de janeiro até o primeiro decêndio de março, com as seguintes proporções: segundo decêndio de janeiro, aproximadamente 2 a 3% das áreas; terceiro decêndio de janeiro, aproximadamente 5 a 7% das áreas; primeiro decêndio de fevereiro, aproximadamente 10% das áreas; segundo decêndio de fevereiro, aproximadamente 20% das áreas; terceiro decêndio de fevereiro, aproximadamente 30% das áreas; primeiro decêndio de março, aproximadamente 30% das áreas.

O procedimento utilizado para antecipar a colheita anterior é a dessecação da soja em 100% das áreas para uniformizar a colheita e viabilizar a janela de semeadura. Os produtos utilizados são: paraquat e paraquat mais diuron e diquat.

Os híbridos mais usados são os de alto investimento. A área se divide em 50% híbridos simples, 25% triplos, 18% duplos e 7% variedades.

A percentagem de cultivares transgênicas é de aproximadamente 94%, na seguinte proporção: Viptera/Viptera3/Leptra 40%, PRO/PRO2/PRO3 28%, PowerCore 20%, apenas RR 6% e Convencional 6%. O número médio de híbridos é de cinco por propriedade.

Os parâmetros utilizados para a escolha dos híbridos são: produtividade, custo das sementes, qualidade de grãos, resistência a doenças, incluindo o enfezamento, ciclo e resistência ao acamamento e quebramento. Outro fator que deve se tornar importante é o FR (fator de multiplicação de nematoides). As fontes de informações são resultado dentro das propriedades e na região, de posicionamento da consultoria, de exemplos de vizinhos e informações de dias de campos.

A população mais utilizada na safrinha é de 60.000 plantas ha⁻¹. Os principais espaçamentos são de 45 a 70 cm entre linhas; na região do Matopiba 98% dos espaçamentos estão entre 45 e 50 cm entre linhas.

Existe a busca por qualidade de semente e zelo pela boa distribuição. O grande gargalo ainda é a velocidade de semeadura, que em virtude da janela estreita de semeadura ainda leva os produtores a acelerarem suas semeadoras em detrimento da boa distribuição, comprometendo o potencial produtivo.

Adubação

Considerando que as áreas destinadas à semeadura do milho safrinha são na sua totalidade áreas com bom histórico de fertilidade e com vários anos de cultivo de soja, em muitas situações pode-se lançar mão de uma adubação mais ajustada, utilizando-se da adubação realizada na soja visando a nutrição do milho quando se refere a fósforo e potássio (Santos, 2015).

A grande maioria dos produtores utiliza fósforo, potássio e nitrogênio nas adubações de milho safrinha, sendo fósforo em linha de semeadura e potássio e nitrogênio em cobertura. A busca por fontes fosfatadas nitrogenadas também é uma prática. As fontes mais utilizadas são o fosfato monoamônico (MAP), o cloreto de potássio (KCl), a ureia, seguidos em segundo plano por mistura de MAP + superfosfato simples (SSP). Para NPK, as dosagens na sua grande maioria são de 60 pontos de fósforo e 60 pontos de KCl ha⁻¹. Misturas de MAP + SSP, em que se busca 7 a 8% de S na formulação, e nitrogênio variando de 70 a 120 pontos de N. A adubação de cobertura é feita com cloreto de potássio em pós-colheita da soja e nitrogenado em pré-semeadura e/ou pós-semeadura até o estágio V4. Não é comum a utilização de micronutrientes no cultivo de milho safrinha.

A inoculação com inoculantes biológicos como o *Azospirillum* é muito pouco utilizada. É feita no tratamento de sementes e via foliar.

Controle de Plantas Daninhas

As espécies de plantas daninhas mais comuns e difíceis de controlar são: vassourinha-de-botão, erva-quente, capim-colchão, capim-pé-de-galinha, capim-carrapicho e, em menor

proporção até momento, capim-amargoso. A espécie resistente ao glifosato está restrita ao capim-amargoso. Utiliza-se apenas controle químico. São utilizados os seguintes produtos: atrazina 2,5 a 3,5 L ha⁻¹, soberan 0,2 a 0,25 L ha⁻¹, calisto 0,2 a 0,25 L ha⁻¹, sanson 0,3 a 0,5 L ha⁻¹ e glifosato 3,0 L ha⁻¹. Para áreas onde a *Brachiaria ruziziensis* entra em consórcio com o milho é utilizada somente a atrazina 3,5 L ha⁻¹ em estágio precoce das invasoras. São frequentes as lavouras com uso contínuo de glifosato na soja e no milho safrinha. Algumas regiões ainda resistem ao uso de milho com a tecnologia RR.

Controle de Pragas

As pragas mais comuns são: lagarta-do-cartucho, lagarta-da-espiga, pulgões e cigarrinha-do-milho. Os métodos de controle são a utilização de materiais resistentes, utilização da biotecnologia inserida nos híbridos, controle químico com inseticidas e a rotação de culturas. Em torno de 20% das lavouras realizam o manejo integrado de pragas corretamente.

Os percevejos da parte aérea e a cigarrinha do milho são considerados pragas importantes. Embora sua importância esteja aumentando, ainda não são pragas-chaves, assim como a cigarrinha-do-milho é na região da Bahia e como o percevejo-barriga-verde e/ou marrom no Paraná. No entanto, a grande maioria dos agricultores já trabalha com estratégias de manejo, como escolha de cultivares tolerantes, tratamento químico de sementes, controle químico da parte aérea, além do escalonamento da semeadura e rotação de culturas. Com relação à eficiência de controle da lagarta-do-cartucho pela resistência da planta, apenas a biotecnologia Viptera/Viptera3 e a Leptra possuem 100% de eficiência. Em seguida, temos a biotecnologia PRO/PRO2/PRO3, com eficiência em torno de

50%, PowerCore em torno de 60% e as biotecnologias mais antigas, como Herculex, Yieldgard e TL, com eficiência em torno de 10%. Quanto ao controle químico, a média de aplicações é de: Viptera/Viptera3 e Leptra com nenhuma aplicação; PRO/PRO2/PRO3 e PowerCore com três aplicações; Herculex, Yieldgard, TL e convencional com seis aplicações.

No caso de controle químico, os ingredientes ativos mais utilizados nas aplicações na parte aérea da planta, incluindo as misturas para controle da lagarta-do-cartucho, são diamidas como: clorantraniliprole+lambdacyalotrina, flubendiamida e renaxapyr; organofosforados: metomil e clorpirifós; fisiológicos: lufenurom, novalurom e triflumurom; espinosinas: espinetoram; análogo de pirazol: clorfenapir; avermectina: benzoato-de-amamectina (com restrição de uso em alguns estados), as quais seguem a recomendação dos fabricantes. O que se deve melhorar é o “time” de aplicação, não deixando a praga se instalar no cartucho para depois tentar realizar o controle. Deve-se atentar também para a tecnologia de aplicação, como o horário, o volume de calda e o tamanho de gota.

O tratamento de sementes tem sido importante para garantir o estande da lavoura, o bom arranque inicial, proteção contra pragas de solo e aéreas além de auxiliar na eficiência dos eventos transgênicos Bt. Os grupos químicos mais utilizados para inseticidas são neonicotinoides como: tiametoxam, imidacloprid e clotianidina; diamidas como: ciantraniliprole e renaxapyr; metilcarbamato de oxina: tiodicarbe; avermectinas: abamectina. Quanto ao controle biológico, alguns produtores estão multiplicando bactérias que possuem ação contra a lagarta-do-cartucho.

Controle de Doenças

As doenças foliares mais comuns por ordem de importância são: ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*) e diplodia (*Stenocarpella* spp.). Em algumas áreas, o crescimento de ataque de mancha-ocular (*Kabatiella zaeae*) e mancha-de-curvulária (*Culvularia* spp.) vem se destacando.

As viroses ainda não são problemas na região, mas a preocupação para evitar a sua propagação é muito grande. A busca de destruição de milho voluntário é imprescindível, pela vantagem de pouca área de milho verão e muito poucos pivôs na região de Matopiba. Existe uma preocupação com a sanidade dos materiais, utilizando-se informações prestadas pelo fornecedor do material e resultados de testes realizados anualmente por órgãos de pesquisa.

Entre os fungicidas mais utilizados para a cultura do milho estão as misturas de estrobilurinas + triazol, tais como azoxystrobina + ciproconazol, piraclostrobina + epoxiconazol, trifloxistrobina + tebuconazol, azoxystrobina + tebuconazol, azoxystrobina + flutriafol, picoxistrobina + ciproconazol.

Os fungicidas à base de triazol também têm sido utilizados em mistura ou isoladamente, sendo eles: propiconazol e difenoconazol. E, por fim, os fungicidas “protetores” como: oxicloreto-de-cobre e mancozebe. As doses devem seguir as recomendações dos fabricantes. O número de aplicações depende do nível de resistência do material e das doenças que estão ocorrendo na cultura, nível de investimento na lavoura, potencial produtivo e condições climáticas. O número de aplicações varia de zero a cinco, sendo na maioria duas aplicações. A recomendação técnica é que as aplicações

ocorram no estágio vegetativo em V8, no pré-pendoamento da cultura e no pré-pendoamento + 15 dias. As aplicações podem ainda iniciar antes de V8 quando houver incidência da doença e condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento.

Colheita

O início da colheita do milho se concentra na segunda quinzena de junho, seguindo até primeira quinzena de agosto. Quanto ao teor médio de umidade de grãos, o início da colheita ocorre com teor médio de 24% de umidade para quem tem estrutura de secagem e volume de área muito acima da capacidade de colheita. Evita-se finalizar a colheita com umidade muito baixa para minimizar as perdas por acamamento de plantas ou queda de espigas. Como a maioria não tem estrutura de secagem, iniciam-se as colheitas com umidade próxima de 14%, mesmo correndo-se o risco de perdas da produção pelos problemas já relatados e pela redução acentuada da umidade. Há pouca ocorrência de grãos ardidos, acontecendo pontualmente em híbridos específicos.

Comercialização

A comercialização da safra está em função do mercado. O armazenamento para venda posterior é a modalidade mais usada, representando de 60 a 70% da produção, salvo o volume comprometido nas trocas comerciais. Em anos anteriores, a modalidade de venda para mercado interno estava aquecida e representou 80% do mercado.

O milho é comercializado diretamente para granjas localizadas no Nordeste, e o excedente vai para o mercado internacional, através do Terminal de Grãos (TEGRAN), em São Luís-MA.

A construção do TEGRAN, no porto de São Luís, deu um grande alívio quanto ao escoamento e à comercialização da produção dos três estados (Santos, 2015), pois agora, além do mercado interno do Nordeste no consumo de milho, existe a possibilidade da exportação. Esta, além de escoar o excedente interno, auxilia na liquidez do milho e na regulação dos preços internos pelo mercado internacional. Somam-se as exportações para o exterior com as vendas para o mercado interno nordestino. A operação do terminal no porto de São Luís possibilitará o aumento da área semeada de milho na primeira safra e na safrinha, pelo fomento financeiro por parte das “tradings” instaladas nas regiões e, conseqüentemente, viabilizará a tão almejada rotação de cultura com melhores resultados do complexo milho e soja.

A disponibilidade de silos armazéns para guardar a produção está muito aquém da necessidade, levando à utilização de silos bolsa. O consumo local do milho é muito baixo, não sendo significativo na comercialização.

Considerações Finais

No Mato Grosso, são muitos os desafios e perspectivas para a evolução da área, da produtividade e da lucratividade do milho safrinha. É evidente a importância da capacidade operacional associada à época ideal de implantação da cultura. A época curta da semeadura contribui para a má qualidade da semeadura, o que ocasiona perdas diretas no rendimento das lavouras. É recomendável a realização da semeadura do milho safrinha de acordo com a capacidade operacional, reduzindo a área de cultivo para ser ter melhor a capacidade de operação de semeadura por área cultivada e, conseqüentemente,

qualidade na semeadura. Aumentos de produtividade são possíveis, porém muitas vezes este item é limitado pelo retorno econômico da atividade. Maiores investimentos com maiores produtividades podem não proporcionar o retorno econômico desejado. Além disto, a evolução da área de cultivo está relacionada com a expectativa de aumento na demanda dos mercados interno e externo.

Em Goiás, as oscilações de preço no mercado do milho safrinha são cíclicas. Resta ao produtor aumentar cada vez mais a produtividade para cobrir os custos de produção da cultura. As regiões de cultivo de milho safrinha em Goiás são tecnificadas, há a adoção de híbridos de alto potencial produtivo, os solos são manejados adequadamente em relação à fertilidade, o clima é adequado ao cultivo da cultura, desde que respeitados os limites para implantação da lavoura. Tudo isto proporciona um ambiente para obtenção de altas produtividades do milho safrinha. Além disto, a cultura do milho safrinha proporciona boa palhada para a manutenção do sistema de plantio direto nos cerrados. Situações como escoamento, comercialização e armazenamento dos grãos, oscilações nos preços de venda, alto custo dos insumos e de mão de obra e insegurança do mercado futuro fazem com que o produtor repense o grau de investimento no milho safrinha.

A grande região agrícola que compreende os estados do Maranhão, Piauí e Tocantins oferece condições edafoclimáticas favoráveis à expansão da área agrícola, tanto soja como milho primeira safra e safrinha. Esta região apresenta facilidade de escoamento rodoviário, ferroviário e naval e proximidade dos mercados consumidores, nacionais e internacionais. Em razão da janela de semeadura permanecer constante nas diversas

microrregiões, com grande concentração das operações de semeadura e colheita, a expansão da safrinha está diretamente ligada à capacidade operacional de cada produtor. Em determinadas situações é necessário um dimensionamento de até 20 hectares por linha de semeadura, dimensionamento superior aos dos produtores que não fazem a safrinha.

A previsão para a safra 2018 é de redução da área em relação à safra 2017, por causa da expectativa de baixos preços e altos custos de produção. Um fator importante para a definição da área cultivada, mas pouco previsível, é a data de início das chuvas, para viabilizar a antecipação da semeadura da soja para o início de outubro. Ainda no que diz respeito aos custos, o agricultor poderá optar por milho de baixa tecnologia, ou seja, sem nenhum evento Bt, ou milho de paiol (F2), colocando em risco a produtividade.

Referências

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.

Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro/2017. Brasília: Conab, 2017. 158p.

EMBRAPA (2017)

KAPPES, C. Inserção do milho safrinha em sistemas de produção no Mato Grosso. In: FUNDAÇÃO MT. (Org.). **Boletim de pesquisa 2015/2016:** soja, algodão e milho. 17.ed. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta, 2015a. p.136-173.

KAPPES, C. Produção de milho safrinha no Mato Grosso. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 13., 2015.

Palestras... Maringá: UEM/IAPAR/EMATER, 2015b. p.557-577. CD-ROM

MONTECHESE, M.A. Produção de milho safrinha nos Estados do Maranhão, Piauí e Tocantins. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013. **Palestras...** Dourados: Embrapa/UFGD, 2013. p.1-6. CD-ROM

PEREIRA FILHO, I. A. (Ed). Cultivo do milho. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicId=8658>. Acesso: 9 nov. 2017.

SANTOS, C.A.R. Cultivo do milho safrinha na região do MAPITO. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 13., 2015. **Palestras...** Maringá: UEM/IAPAR/EMATER, 2015. p.504-518. CD-ROM



XIV Seminário Nacional Milho Safrinha

Construindo Sistemas de Produção Sustentáveis e Rentáveis

Promoção



Realização



Co-realização



Apoio científico



Patrocínio



VALE FERTILIZANTES



Apoio

