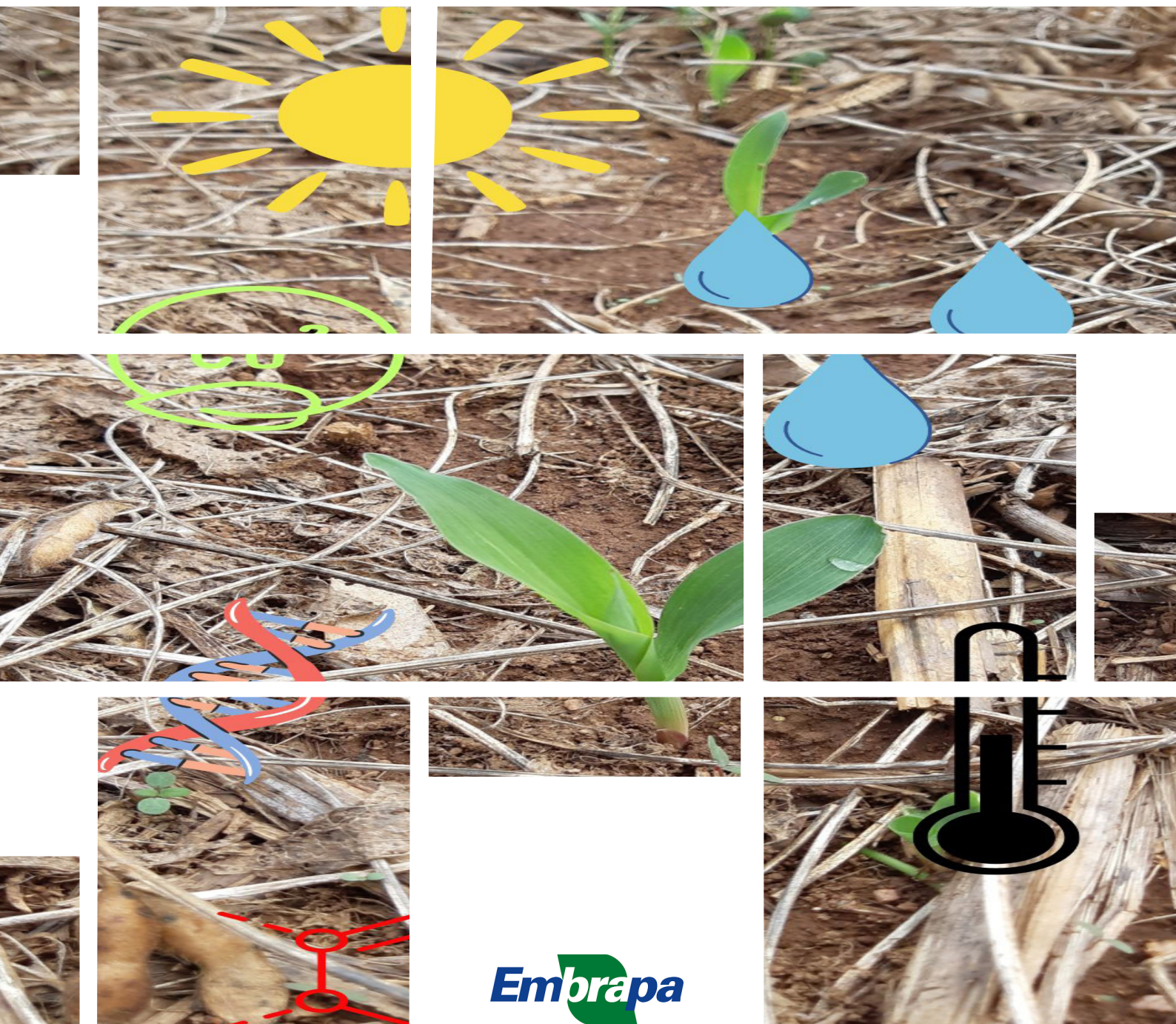


Ecofisiologia do milho segunda safra para alta produtividade



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

DOCUMENTOS 273

**Ecofisiologia do milho segunda safra
para alta produtividade**

*Emerson Borghi
Paulo César Magalhães
Israel Alexandre Pereira Filho*

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG-424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Milho e Sorgo
Presidente

Maria Marta Pastina

Secretário-executivo

Elena Charlotte Landau

Membros

*Cláudia Teixeira Guimarães, Mônica Matoso
Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Maria
Cristina Dias Paes*

Revisão de texto

Antonio Cláudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa

Emerson Borghi

1ª edição

Publicação digital (2023): PDF

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Borghi, Emerson.

Ecofisiologia do milho segunda safra para alta produtividade / Emerson Borghi,
Paulo César Magalhães, Israel Alexandre Pereira Filho. – Sete Lagoas : Embrapa
Milho e Sorgo, 2023.

PDF (22 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277
; 273).

1. *Zea mays*. 2. Safrinha. 3. Rendimento. 4. Deficiência hídrica. I. Magalhães,
Paulo César. II. Pereira Filho, Israel Alexandre. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 633.15

Autores

Emerson Borghi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia (Produção Vegetal), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Paulo César Magalhães

Engenheiro-agrônomo, doutor em Field Crop Physiology, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Israel Alexandre Pereira Filho

Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Apresentação

A planta de milho apresenta ampla adaptabilidade e estabilidade. Esta característica intensificou seu cultivo em segunda safra (época conhecida também como safrinha), após a colheita da soja, impulsionando a produção do cereal no Brasil. Atualmente, 75% de todo o milho produzido no País provêm desta época de semeadura. Para que a cultura possa expressar o máximo potencial produtivo, é necessário conhecer as necessidades hídricas e de temperatura, características que são fundamentais para o desenvolvimento da planta e a formação dos grãos.

O atraso na semeadura do milho, por problemas na implantação e colheita da soja ou mesmo pelo baixo rendimento operacional na semeadura, pode colocar a planta em condições limitantes que podem iniciar na emergência e, a depender do estágio fenológico da cultura, compromete a produtividade de grãos em diferentes magnitudes.

O Brasil, como um dos principais países produtores de milho, vem desenvolvendo novas tecnologias que podem viabilizar o estabelecimento da cultura. A associação do correto manejo do solo e dos tratamentos culturais permite potencializar a produtividade mesmo em condições restritivas. O Sistema Antecipe é uma modalidade de cultivo inovadora para o milho segunda safra e pode aumentar a produtividade do milho, sendo posicionado para áreas que seriam destinadas ao cultivo em condições limitantes ao desenvolvimento da cultura.

O ganho de produtividade pelo Antecipe permite inferir que essa tecnologia pode ser recomendada para sistemas de cultivo soja/milho na safrinha, adaptada para áreas de alta fertilidade de solo do Sudoeste do estado de Goiás, e focando especialmente em semeaduras tardias do milho safrinha que, para essa região, ocorrem após 20 de fevereiro. Além do ajuste na época de semeadura, o correto posicionamento de cultivares em face das condições edafoclimáticas regionais para permitir o máximo potencial produtivo da cultura do milho é critério fundamental, adequando-se as práticas agropecuárias de forma correta e no tempo ideal, otimizando o uso dos recursos naturais disponíveis.

Frederico Ozanan Machado Durães

Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

SUMÁRIO

Introdução.....	07
Influência dos fatores ambientais na safrinha de milho.....	07
Exigência hídrica e disponibilidade de água.....	09
Armazenamento de água no solo.....	11
Temperatura.....	12
Radiação solar.....	13
Características desejáveis para o cultivo do milho safrinha.....	14
Escolha das cultivares.....	14
Época de semeadura.....	15
Adoção de tecnologias emergentes para o cultivo do milho safrinha.....	15
Referências	22

Introdução

A Ecofisiologia Vegetal é uma das áreas mais importantes nos estudos com milho (*Zea mays*), sobretudo com o cultivo do cereal na safrinha, pois relaciona a planta com o seu ambiente de produção, em especial onde as condições climáticas têm correlação direta com a produtividade.

Os efeitos dos estresses abióticos que ocorrem no período de cultivo de safrinha são diferentes daqueles ocorridos durante a safra de verão, principalmente a ocorrência de períodos secos e variações de temperaturas, os quais aumentam de intensidade gradualmente, ao contrário do que ocorre na primeira safra. A diminuição da radiação solar é outro fator a ser considerado no milho safrinha, pois, embora a planta de milho seja considerada fotoneutra, ela influencia na taxa fotossintética da planta.

Essas condições ambientais afetam negativamente a lavoura, em diferentes graus de intensidade, na fase vegetativa, e sobretudo no florescimento e no enchimento de grãos. Variações na época de semeadura podem influenciar no acúmulo de graus-dia, afetando o ciclo da planta. Em condições de safrinha, o aumento do ciclo pode ocasionar maior duração dos estádios fenológicos, aumentando o consumo de água pela planta e, em condições restritivas de oferta de água via precipitação, resultando em menores produtividades.

O efeito dos fatores ambientais no milho safrinha dependerá de sua intensidade, duração e da época em que eles ocorrem. Isso está diretamente ligado à época de semeadura, pois, à medida que se distancia da janela recomendada pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), as probabilidades de ocorrências de estresses são potencializadas. Fatores ambientais que estão na intensidade/quantidade ótima (ideal) proporcionam à planta condições fisiológicas ideais, sem comprometimento ao desenvolvimento dela. Quando os fatores ambientais não são ideais, proporcionam um desvio das condições fisiológicas ótimas, os quais são chamados de fatores de estresse, que sempre causam prejuízos às plantas. Todas as plantas direta ou indiretamente estão sujeitas a sofrer algum fator de estresse, que podem ser bióticos (pragas e doenças) ou abióticos (ambientais). Atualmente, novas tecnologias têm sido estudadas e validadas em diferentes condições ambientais, buscando reduzir os efeitos deletérios provenientes do estresse hídrico, tais como novos sistemas de cultivo e o uso de bioestimulantes. A seguir serão apresentados os fatores que mais se associam aos estresses causados pelos fatores abióticos, com destaque para o déficit hídrico, pela sua importância no comprometimento da produtividade do milho safrinha.

Influência dos fatores ambientais na safrinha de milho

De acordo com Kappes et al. (2013), cerca de 80% da área de milho safrinha no Mato Grosso são semeadas entre 5 de janeiro e 20 de fevereiro. As cultivares semeadas neste período têm maiores chances de expressarem todo o seu potencial produtivo, uma vez que há probabilidade de ocorrer menor risco de estresse hídrico durante o ciclo.

Entretanto, mais importante que a época de semeadura, é a disponibilidade de água nas fases de maior necessidade pelas plantas de milho, principalmente em safrinha. De acordo com Ribeiro et al. (2020) e Fancelli (2015), o consumo de água é dependente do estágio de desenvolvimento. Segundo os autores, para uma cultivar com ciclo de 120 dias, o consumo de água pode variar entre 400 mm e 600 mm, especialmente entre os estádios VT (todos os ramos do pendão são visíveis e o estilo-estigma ainda não está emergido) e R3 (grão leitoso) (Magalhães et al., 2020).

Na Figura 1 está evidenciado exemplo da época de semeadura e o fornecimento de água via precipitação em detrimento do consumo de água necessário em cada estágio de desenvolvimento do milho. Para esta simulação, os dados de precipitação do ano de 2020 foram coletados pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), para o município de Tangará da Serra, MT, e o consumo de água pelo milho foi calculado a partir do programa IrrigaFácil, da Embrapa.

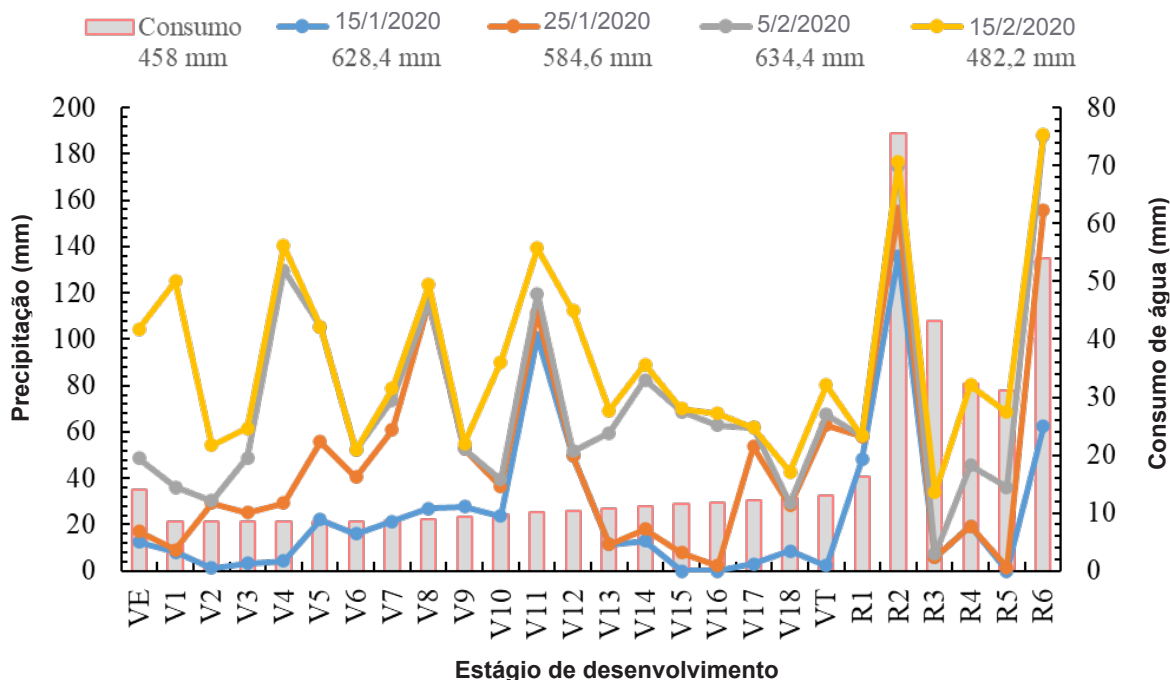


Figura 1. Simulação entre o consumo de água requerido pelo milho e a quantidade de água proveniente da precipitação para o município de Tangará da Serra-MT, em diferentes épocas de semeadura do milho safrinha.

Através da análise da Figura 1, é possível verificar que, nas épocas de semeadura simuladas (15/1/2020 a 15/2/2020, em intervalos de 10 dias), a quantidade de água via precipitação supera a necessidade hídrica requerida pelo milho (458 mm), mesmo na semeadura próxima ao limite crítico determinado pelo Zarc para o município (482,2 mm na semeadura realizada em 15/2/2020). Porém, a simulação demonstra que, nas semeaduras de 15 e 25/1/2020, a quantidade de água proveniente da precipitação é inferior ao consumo requerido pela planta na fase de emergência. Nesse estágio, a planta necessita de 2,8 mm de água/dia, e se o período entre a semeadura e a emergência for de 5 dias, só para a emergência são necessários 14,1 mm. Assim, essa deficiência hídrica comprometerá o estabelecimento da radícula e das raízes seminais, responsáveis pela absorção de água e nutrientes essenciais para o estabelecimento da lavoura (Ribeiro et al., 2020). Nessas épocas de semeadura, mesmo com quantidades de água suficientes a partir de VT, a deficiência hídrica no período vegetativo comprometerá a produtividade, uma vez que, nos estádios fenológicos V4 a V8, em que se definem as características morfológicas da espiga (número de fileiras e de grãos na fileira), houve disponibilidade de água próxima ao requerido nessa fase. Assim, mesmo semeando de forma antecipada, as plantas não conseguirão produzir o máximo potencial produtivo. Além disso, a deficiência hídrica constatada na simulação das semeaduras de janeiro entre os estádios vegetativos finais comprometerá o comprimento da espiga, reduzindo o número de grãos em cada fileira, mesmo que o número final de grãos seja determinado após a polinização (Magalhães et al., 2021).

Em contrapartida, nas simulações de semeadura do mês de fevereiro (5/2/2020 e 15/2/2020), a quantidade de água disponível via precipitação supera o consumo requerido pela planta até o estágio R2. Assim, mesmo que o requerimento de água seja satisfatório até o estágio de “grão bolha” (Magalhães et al., 2020), a falta de água a partir dessa fase comprometerá o enchimento de grãos, impactando principalmente na massa de grãos. Portanto, mesmo com oferta de água superior ao consumo, também poderá ocorrer perda de produtividade, embora em magnitudes menores que as semeaduras de janeiro.

Por fim, cabe destacar que, nesta simulação, o objetivo foi demonstrar que a dependência somente da precipitação pode ser um risco ao produtor, pois, mesmo com total de água superior ao requerido pela planta, a distribuição irregular ao longo do desenvolvimento do milho safrinha comprometerá a produtividade. Assim, além do ajuste na época de semeadura, outras estratégias de manejo devem ser associadas, entre elas: a) aumentar o potencial de armazenamento de água no solo, através do uso de plantas de cobertura para manutenção da umidade do solo; (ii) realizar a correção do solo em profundidade, para que as raízes do milho possam absorver água e nutrientes em camadas mais profundas.

Portanto, aqueles agricultores que não semearem o milho na janela ideal de sua região, principalmente em datas próximas ao final do período preconizado pelo Zarc, poderão ter problemas com a falta de água, em especial nas épocas críticas para a cultura (florescimento até enchimento de grãos).

Exigência hídrica e disponibilidade de água

A quantidade de água requerida pela cultura do milho durante o ciclo de desenvolvimento supera a soja. Comparando as duas culturas, o milho é mais eficiente no uso da água em comparação à oleaginosa, por converter maior aporte de matéria seca por unidade de água absorvida. Além de necessária para o desencadeamento de diversos processos fisiológicos na planta, a água atua também no processo de absorção e transporte de nutrientes. De acordo com Daryanto et al. (2020), a deficiência de água leva à deficiência mineral, resultando na redução do desenvolvimento e no surgimento de deficiências nutricionais ao longo do crescimento do milho, reduzindo assim sua produtividade.

Os principais efeitos do estresse hídrico no desenvolvimento e no crescimento das plantas são: redução da altura das plantas, menor número de folhas, redução da área foliar, enrolamento foliar, perda da coloração verde das folhas (por causa da remobilização de nitrogênio) e maior taxa da raiz/parte aérea. Em função do efeito do estresse nos parâmetros morfológicos, ocorrerão mudanças fisiológicas, como fechamento estomático, menor transpiração e condutância estomática, menor taxa fotossintética e presença de estresse oxidativo. Em seguida, ocorrem as mudanças bioquímicas, com destaque para a diminuição da eficiência da enzima rubisco, presença de danos oxidativos, produção de espécie reativa de oxigênio (ERO) (Zandalinas et al., 2018), menor teor de clorofila, acumulação de ácido abscísico (ABA) e produção de carboidratos (Seleiman et al., 2021).

O consumo de água pelo milho durante os estádios vegetativos VE a V8 não excede 3,0 mm/dia (Fancelli, 2015). Entre V8 até R4 (grão pastoso/farináceo), o consumo aumenta até 5,5 mm/dia, diminuindo progressivamente até a maturidade fisiológica (Figura 2). Em muitas regiões, em razão das temperaturas máxima e mínima, a duração dos estádios fenológicos pode influenciar diretamente na necessidade de água e afetar o potencial máximo produtivo do milho, por não disponibilizar água em quantidades satisfatórias para a cultura no momento de maior exigência.

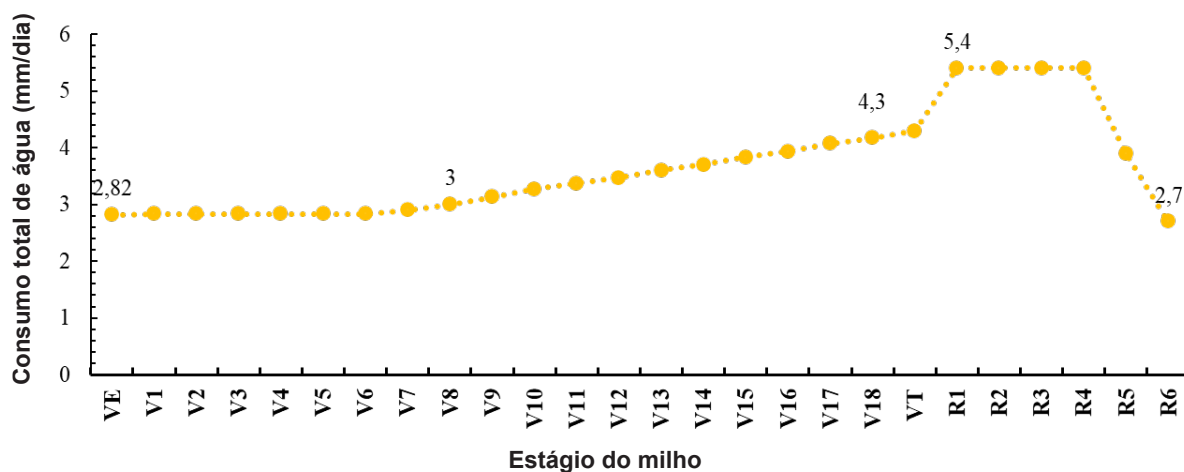


Figura 2. Consumo total de água (ciclo 120 dias) 400 a 600 (mm/dia)

Fonte: Compilado de Andrade et al. (2008) e Fancelli (2015)

Em experimentos conduzidos em diversas regiões brasileiras em diferentes épocas de cultivo, definiu-se que a duração de dias entre as fases fenológicas é de 1 a 5 dias entre a semeadura e VE, três dias nas fases vegetativas (VE a R1), 6 a 14 dias entre R2 e R5 e até 20 dias após a maturidade fisiológica (R6), sendo a duração de cada fase dependente das temperaturas máximas e mínimas que influenciam no acúmulo de graus-dia (Magalhães et al., 2021).

O conhecimento da evapotranspiração da cultura (ET_c), relação entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (K_c), é tão importante quanto o consumo de água. De acordo com Andrade et al. (2008), o requerimento de água é a quantidade que as plantas transpiram. Segundo os autores, em condições de safrinha, quando a temperatura é elevada, a disponibilidade hídrica é baixa, e, associada à alta evaporação de água pelo solo, pode agravar, ainda mais, a aquisição de água pela planta. De acordo com Ribeiro et al. (2020), a ET_c para uma cultivar de 120 dias de ciclo pode variar entre 439 mm e 534 mm.

Em razão da maior perda de água por meio da evapotranspiração, as temperaturas elevadas podem desencadear o estresse da seca no milho safrinha. Não apenas as temperaturas mais altas, que podem ocorrer dependendo da região, mas as temperaturas reduzidas também podem desencadear estresse por déficit hídrico, uma vez que a viscosidade da água aumenta, dificultando a absorção de água. A ocorrência de dois dias de estresse hídrico no florescimento diminui o rendimento em mais de 20%. Durante a floração, quatro a oito dias de déficit hídrico diminuem a produção em mais de 50% (Andrade et al., 2008).

Além dos efeitos deletérios já conhecidos, em trabalhos de pesquisa foi demonstrado que a falta de água interfere na síntese de proteínas e RNA, acarretando o aumento de aminoácidos livres que prejudica o alongamento celular. Isso equivale a dizer que a planta, mesmo sob condições de falta de água, continua sua divisão celular, porém o alongamento é reduzido ou até paralisado (diminuição da pressão de turgor na célula, necessário para o alongamento celular), dependendo da duração e da intensidade do estresse (Magalhães; Durães, 2008).

Como consequências do déficit hídrico, as plantas fecham os estômatos e permanecem mais tempo respirando quando, na verdade, deveriam estar fotossintetizando. O dióxido de carbono (CO_2) necessário para a fotossíntese entra na planta através dos estômatos. Por isso, longos

períodos de estômato fechado afetarão a fotossíntese e, conseqüentemente, a produtividade. Nessa condição, as plantas cessam os mecanismos de resfriamento e aumentam a temperatura da folha, aumentando a taxa respiratória, e conseqüentemente ocorre maior consumo de reservas, impactando na menor produção de matéria seca pela planta.

O fechamento estomático das plantas sob déficit hídrico pode ser hidropassivo e hidroativo. 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, mais comum em condições de safrinha. O ABA é uma das moléculas de maior atuação no estresse por deficiência hídrica, influenciando na condutividade hidráulica e nas aquaporinas (proteínas transportadoras de água), no processo de floração e no enchimento de grãos (Marques et al., 2021). Sob baixa disponibilidade hídrica, condição muito comum na safrinha, há um grande acúmulo de ABA, regulando a abertura e o fechamento dos estômatos. Grandes concentrações de ABA nas folhas resultam na redução da perda de água através do fechamento dos estômatos, evitando assim que a planta perca água através da transpiração. O fechamento estomático também pode ser causado pelo aumento do transporte de ABA para a parte aérea (através do xilema), o qual foi produzido nas raízes, em contato com o solo seco. Essa rápida resposta, constituída pelo fechamento dos estômatos, limita tanto a condutância de água (na forma de vapor) quanto a condutância do CO₂ nas folhas, limitando a fotossíntese, diminuindo a produção de açúcares e compostos importantes para o desenvolvimento da planta e intensificando a senescência da folha, alterando a relação fonte-dreno e reduzindo o período de enchimento e formação dos grãos (Ribeiro et al., 2020; Salehi-Lisar; Bakhshayeshan-Agdam, 2020).

Armazenamento de água no solo

Solos argilosos apresentam maior potencial de armazenamento de água quando comparados a solos arenosos. Assim, em condições de semeadura do milho safrinha, o tipo de solo e sua granulometria também influenciam na capacidade de armazenamento de água e nutrientes, principalmente em condições de restrição hídrica.

Como mencionado anteriormente, o consumo de água pela planta varia em função de seu desenvolvimento. De acordo com Andrade et al. (2008), restrição hídrica em fases anteriores a VT pode reduzir a produtividade em até 50%, e, nas fases reprodutivas, entre 20% e 30%. Em condições de altas temperaturas e baixa umidade, o consumo de água pelo milho pode chegar até 10 mm/dia na fase de maior exigência hídrica pela cultura (VT a R2) (Avelar, 1984).

A água armazenada no solo é definida como a sua capacidade de água disponível (CAD) que sofre forte interferência da textura (conteúdo de areia, silte e argila), além de outros fatores, como teor de matéria orgânica, estrutura, barreiras físicas subsuperficiais, etc. Além disso, a CAD também pode ser aumentada com o aprofundamento do sistema radicular da cultura, tendo em vista que maior volume de raízes vai explorar maior volume de solo. Assim, sob déficit hídrico, uma maior CAD fará com que a cultura (com sistema radicular mais profundo) suporte melhor um período longo de pouca água, como é o caso do milho safrinha.

Proporcionar cobertura do solo por meio de plantas de cobertura é fundamental e, em muitas regiões, o milho torna-se a principal cultura para compor sistemas de cultivo em rotação ou consorciação com forrageias tropicais (Simão et al., 2021), mantendo cobertura permanente do solo. Como consequência, há diminuição da evaporação da água e perda por escoamento superficial (Merlo et al., 2022), e melhora a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica,

o que possibilitará ampliação do armazenamento de água no perfil e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes em maiores profundidades (Silva et al., 2022).

Temperatura

Para o milho, independentemente da época de semeadura, a temperatura é tão importante quanto o fotoperíodo (Magalhães; Durães, 2008). A temperatura ótima de crescimento do milho é de uma típica planta C4 (25 °C a 28 °C durante o dia e 18 °C a 19 °C à noite). 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 (Magalhães; Durães, 2008). De acordo com Fancelli (2015), temperaturas do solo inferiores a 10 °C (considerada como temperatura-base) e superiores a 42 °C são consideradas limitantes ao desenvolvimento da planta.

O estresse pelo frio causa danos às plantas por alterações na estrutura da membrana e diminuição do fluxo protoplasmático, vazamento de eletrólitos e plasmólise, que leva a danos celulares (Wijewardana et al., 2016). Com a redução da temperatura abaixo de 12 °C, condição que pode ocorrer com frequência nos estados do Mato Grosso do Sul e Paraná na fase de florescimento e enchimento de grãos, por exemplo, haverá comprometimento da produção, diminuindo a massa de grãos. Em situações extremas, quando ocorre perda de área foliar, como nas geadas, toda a produtividade é afetada. Caso a temperatura do ar fique abaixo do mínimo para o milho (10 °C) após a maturação fisiológica, o metabolismo vai continuar lento, com baixa perda de umidade nos grãos e comprometimento da qualidade, em especial a presença de micotoxinas. A água na superfície foliar pode rapidamente se expandir para os espaços intercelulares, ocasionando uma desidratação e até uma ruptura da membrana plasmática.

Por outro lado, a elevação da temperatura nas fases da emergência à polinização acelera o pendoamento, enquanto na polinização o efeito da temperatura (acima de 30 °C) reduzirá a viabilidade do pólen. Essa temperatura é muito comum durante o desenvolvimento do milho safrinha em regiões de baixas altitudes do leste de Mato Grosso e no estado do Tocantins, por exemplo.

Um dos principais efeitos do estresse por altas temperaturas em plantas é a geração excessiva de ERO que conduz a um estresse oxidativo. Esse estresse leva à maior produção de ERO, principalmente nos cloroplastos (fotossistemas I e II), embora também seja produzido nas mitocôndrias e nos peroxissomos (Salehi-Lisar; Bakhshayeshan-Agdam, 2020). A tolerância ao estresse por calor em plantas cultivadas tem sido associada a um aumento da capacidade antioxidante enzimática e não enzimática (Alam et al., 2017) e também à produção de proteínas termotolerantes: HSP (proteínas de choque térmico) (Qu et al., 2013).

Embora todos os estádios de desenvolvimento do milho sejam suscetíveis ao estresse por altas temperaturas, é no florescimento que a planta de milho sofre mais, levando a perdas irreversíveis na produtividade. Altas temperaturas podem levar ao abortamento floral, e até à não produção de grãos, dependendo da cultivar. 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 e a anomalia no estilo-estigma (Alam et al., 2017). Em condições de safrinha, assim como na simulação demonstrada anteriormente, o atraso na semeadura poderá levar à perda de produtividade tanto pela falta de água como pela ocorrência de altas temperaturas. Assim, cabe ao produtor buscar, sempre que possível, semear o milho safrinha dentro do calendário agrícola preconizado pelo Zarc como forma de reduzir os riscos de perda de produtividade por condições climáticas.

As cultivares de milho disponíveis no mercado brasileiro são classificadas quanto ao ciclo em relação ao acúmulo de graus-dia até a fase de florescimento, calculada através da soma térmica da temperatura diurna e noturna e da temperatura-base (10 °C) (Magalhães et al., 2021). De acordo com Pereira Filho e Borghi (2021), as cultivares podem ser subdivididas em superprecoce, precoce e normais, apresentando, respectivamente, soma térmica menor que 825 graus-dia, entre 830 e 900 graus-dia e acima de 900 graus-dia. Vieira Júnior (1999) ressaltou que, quando as cultivares não alcançam as somas térmicas exigidas em cada estágio de desenvolvimento, ocorre o prolongamento ou a redução da fase vegetativa, que, no caso do milho safrinha, poderá afetar o maior ou menor consumo de água, o que limitará, no caso de semeaduras em condições climáticas desfavoráveis, o potencial produtivo da cultura.

Radiação solar

A radiação solar também influencia diretamente na produtividade do milho safrinha, principalmente pela época de semeadura, por ser a fonte principal de energia, fundamental para os processos fisiológicos. O milho é uma das espécies com maior eficiência fotossintética (Ribeiro et al., 2020), principalmente pelo mecanismo fotossintético C4 (Magalhães; Durães, 2008). A redução de 30% a 40% da radiação solar por um longo período de tempo pode acarretar redução da produção e atraso na maturação. O máximo aproveitamento da radiação solar ocorre no pré-florescimento e no enchimento de grãos do milho, sendo esta fase o período mais crítico para a cultura (Bevilacqua, 2012).

Em condições de safrinha, pela redução da quantidade de radiação solar nos períodos de outono-inverno, estratégias de manejo cultural podem ser adotadas, sobretudo arranjo espacial de plantas (menores espaçamentos proporcionam maior equidistância entre plantas, além do estande final adequado às condições da safrinha e da região de cultivo). Recomenda-se semeadura realizada no sentido leste/oeste sempre que possível (para que as plantas possam obter maior incidência de luz), além da escolha de cultivares adaptadas às condições regionais, com disposição de folhas que propiciem o máximo Índice de Área Foliar (IAF).

Em relação ao fotoperíodo, as cultivares de milho utilizadas no Brasil são pouco sensíveis ou sem resposta (Ribeiro et al., 2020), sendo considerada uma espécie fotoneutra (Vieira Júnior, 1999).

Características desejáveis para o cultivo do milho safrinha

Escolha das cultivares

Um fator importante a ser considerado no sistema de produção do milho safrinha é a escolha da cultivar adaptada à região de cultivo. O híbrido utilizado na safrinha deve ser aquele que apresente rusticidade e consistência na produção, mesmo existindo diversidade das condições climáticas, além de características agrônômicas importantes como resistência às principais pragas e doenças do milho. Deve apresentar também bom empalhamento e tolerância ao acamamento e quebramento.

Em relação ao ciclo, cultivares precoces são as mais escolhidas para essa época de semeadura, em virtude da condição climática até o florescimento. Por essa razão, as empresas disponibilizam cultivares precoces em maiores proporções em comparação aos demais ciclos (Pereira

Filho; Borghi, 2021). Na Tabela 1 pode ser observada, nas últimas oito safras, a predominância de novas cultivares de ciclo precoce disponibilizadas ao mercado, em razão da maior adaptabilidade e estabilidade produtiva para safrinha em comparação às cultivares de ciclo hiperprecoce ou superprecoce, estas últimas posicionadas exclusivamente para o cultivo de verão na região Sul. Na safra 2021/2022, as cultivares precoces representaram 71,3% do total de cultivares disponibilizadas para a safra 2021/2022, seguidas de cultivares de ciclo superprecoce, com 25,5% (Pereira Filho; Borghi, 2021).

Tabela 1. Variação percentual das cultivares de milho disponíveis no mercado, quanto ao ciclo de desenvolvimento, em oito safras consecutivas.

Safr a	Percentual de variação das cultivares em relação aos ciclos (%)				
	Precoce	Superprecoce	Semiprecoce	Hiperprecoce	Normal
2013/14	69,16	22,62	4,28	1,28	2,78
2014/15	68,77	23,83	3,37	0,84	3,16
2015/16	66,87	22,91	4,64	0,92	4,33
2016/17	69,98	26,03	4,12	1,58	1,27
2017/18	65,77	28,52	3,70	0,67	1,34
2018/19	70,89	24,69	3,08	0,00	0,62
2019/20	65,80	24,50	4,60	3,10	1,00
2020/21	66,33	23,50	4,00	3,00	3,17
Média ⁽¹⁾	67,94	24,57	3,97	1,42	2,10

Fonte: Pereira Filho e Borghi (2021)

⁽¹⁾Média de oito safras.

O uso de cultivares com diferentes ciclos diminui os riscos das condições climáticas e desafoga o maquinário e as operações agrícolas para os tratos culturais, principalmente aqueles ligados ao manejo de pragas.

Além da possibilidade de expressão de maiores produtividades em safrinha, cultivares precoces são mais responsivas na população de 60 mil plantas por hectare do que os milhos dos outros ciclos (Pereira Filho et al., 2013), por isso essa é outra razão pela qual os produtores dão preferência ao ciclo precoce.

Por outro lado, as desvantagens da escolha por cultivares precoces podem estar relacionadas com a redução do ciclo do cultivo, uma vez que a cultura, frente a uma condição climática adversa, apresenta um curto período de tempo para se recuperar. Nessa condição, o milho precoce exige alta necessidade de manejo e adubação. Por isso, as escolhas da cultivar e de algumas técnicas de manejo cultural (em especial, a adubação) são essenciais para o cultivo do milho precoce em safrinha.

No levantamento das cultivares de milho para safra 2022/2023 (94 cultivares), grande parte dos novos materiais são recomendados para semeadura de primeira ou segunda safra (64,9%), demonstrando a amplitude e adaptabilidade do milho para compor sistemas de cultivo em rotação nas mais diferentes condições edafoclimáticas brasileiras (Pereira Filho; Borghi, 2022).

Época de semeadura

A semeadura do milho safrinha depende, exclusivamente, da época de cultivo da soja. Condições climáticas desfavoráveis para a oleaginosa podem alterar o ciclo da planta, o que pode retardar o ciclo mesmo em cultivares precoces, resultando em atrasos na semeadura do milho.

A produtividade do milho safrinha pode ser influenciada não somente pela quantidade de água disponível, mas também pelo acúmulo de graus-dia. Condições de maiores oscilações entre a temperatura diurna e noturna podem ocasionar maior acúmulo de graus-dia, interferindo na duração dos estádios fenológicos. Para evidenciar essa afirmação, na Tabela 2 são apresentados resultados de experimento conduzido em Sete Lagoas, MG durante o ano agrícola 2016/2017, com três híbridos de milho e seis épocas de semeadura. Pelos resultados, observa-se que, para os três híbridos, o atraso na semeadura em 17 dias no mês de novembro proporcionou maior acúmulo de graus-dia, porém, a produtividade de grãos foi menor que a primeira data de semeadura em dois dos materiais (AS1596 PRO2 e AG 7098 PRO2). Nas semeaduras realizadas em dezembro, o acúmulo de graus-dia foi muito semelhante entre os híbridos, e nessas datas a produtividade foi maior, demonstrando que, nessa época de semeadura, as condições climáticas foram mais propícias para a expressão de máximo potencial das cultivares. Na semeadura de janeiro, ocorreu novo aumento de graus-dia, em decorrência das maiores variações de temperatura que ocorrem nessa região no verão, mas, assim como na semeadura de novembro, a produtividade de grãos nos híbridos AS 1596 PRO2 e AG 7098 PRO2 também foi menor que a da primeira data de semeadura (7/11/2016). Por meio desse resultado é possível inferir que híbridos respondem de forma diferente, mesmo quando submetidos à mesma condição ambiental e aos mesmos níveis de investimento. Embora com altas produtividades, as semeaduras em condições de temperatura e disponibilidade hídrica mais elevada podem aumentar o ciclo dos materiais. Contudo, cada híbrido pode responder de forma diferenciada a essas condições (Tabela 2).

De acordo com Borghi et al. (2021a), deve-se priorizar a semeadura do sistema soja/milho safrinha de acordo com o Zarc recomendado para o município. O produtor pode consultar os dados através do link <http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>. Para obter a informação, basta selecionar a safra desejada; a cultura (soja e/ou milho segunda safra); o estado e o município onde a propriedade se localiza; o grupo de maturidade da cultivar (Tipo I – ciclo precoce; Tipo II – ciclo médio; Tipo III – ciclo tardio; e a textura do solo (arenoso, textura média ou argilosa). A seleção dessas informações fornecerá ao produtor as épocas recomendadas considerando os riscos de perdas por adversidades climáticas da ordem de 20%, 30% e 40%. Quanto maior a porcentagem, maior o risco de perdas de produtividade.

Adoção de tecnologias emergentes para o cultivo do milho safrinha

Novas tecnologias em manejo para o cultivo de milho safrinha estão disponíveis para o agricultor, e uma análise quanto à viabilidade técnico-econômica pode ser feita pelo produtor visando a sistema de produção mais ajustado às condições da propriedade agrícola.

Tabela 2. Produtividade de grãos de diferentes cultivares de milho em função da época de semeadura. Sete Lagoas-MG, Embrapa Milho e Sorgo, ano agrícola 2016/2017.

Híbrido	Data da semeadura	Duração do ciclo		Produtividade	
		(DAE)	(Graus-dia) ⁽¹⁾	(kg/ha)	(kg/ha/dia) ⁽²⁾
AS1596 PRO2	7/11/2016	124	820	7.929	
	24/11/2016	133	932	7.761	-9,8
	6/12/2016	128	863	9.323	+131,5
	20/12/2016	123	871	11.660	+266,5
	6/1/2017	114	887	9.854	+113,2
	19/1/2017	134	886	7.300	-48,4
AG7098 PRO2	7/11/2016	124	847	10.897	
	24/11/2016	133	907	10.856	-2,4
	6/12/2016	128	863	12.475	+131,5
	20/12/2016	123	871	11.380	+34,5
	6/1/2017	114	874	10.615	-16,6
	19/1/2017	134	886	8.939	-150,6
AG 8088 PRO2	7/11/2016	124	820	7.906	
	24/11/2016	133	907	8.538	+37,2
	6/12/2016	128	876	11.251	+278,75
	20/12/2016	123	844	11.060	+225,3
	6/1/2017	114	874	9.276	+80,6
	19/1/2017	134	886	7.993	+6,7

⁽¹⁾- Cálculo de acordo com a equação descrita em Ribeiro et al. (2020) entre os estádios fenológicos de emergência (VE) a VT (pendoamento), a partir da escala descrita em Magalhães et al. (2021)

⁽²⁾ – Ganho (+) ou perda (-) de produtividade de grãos em razão do número de dias entre as datas de semeadura tendo como referência a semeadura de 07/11/2016.

Um dos principais problemas no milho safrinha se refere à época de semeadura. O ajuste na data depende da cultivar de soja utilizada e das condições climáticas até a colheita da oleaginosa. Muitos produtores, para que seja possível semear o milho dentro da janela ideal, acabam por semear a soja “no pó”, comprometendo a produtividade da cultura de maior rendimento, e mesmo assim sem garantia de melhor produtividade do milho na sequência, uma vez que, mesmo com esta estratégia, uma parte da área pode ser semeada fora do calendário ideal, pois o rendimento operacional ainda não possibilita condições de semear toda a área dentro das melhores condições climáticas.

Uma das tecnologias lançadas recentemente para o ajuste da semeadura do milho safrinha em melhores condições climáticas é denominada Sistema Antecipe. Trata-se do cultivo intercalar de milho nas entrelinhas de soja a partir do estágio de desenvolvimento R5 da oleaginosa (Karam et al., 2020) (Figura 3).

Foto: Décio Karam



Figura 3. Semeadura do milho nas entrelinhas da soja - Sistema Antecipe.

Este sistema é inovador e disruptivo para a agricultura brasileira, planejado a partir de um conhecimento adquirido por mais de 15 anos de pesquisas em diversas regiões de cultivo de milho safrinha do Brasil. O objetivo principal do Antecipe é maximizar o sistema produtivo, pois através dele faz-se a semeadura mecanizada do milho em até 20 dias antes da colheita da soja, a depender da região. Isso diminui os riscos para o produtor pois ele consegue antecipar a semeadura do milho para uma janela de cultivo mais favorável. Na colheita da soja, o milho sofre um dano mecânico, porém se recupera totalmente sem prejuízos a sua produtividade (Figuras 4 e 5).

Foto: Décio Karam



Figura 4. Plantas de milho desfolhadas parcialmente pela colhedora, após colheita da soja.

Foto: Décio Karam



Figura 5. Recuperação das plantas de milho após o dano causado pela colhedora.

Essa tecnologia é recomendada para a safrinha tardia, em condições em que o produtor realiza a semeadura fora do calendário preconizado pelo Zarc para a região, e não prevê substituir a semeadura do milho safrinha quando a condição estiver dentro da janela ideal (Karam et al., 2020).

O milho no Sistema Antecipe, por ser semeado antes da colheita da soja, terá uma desfolha precoce das plantas no estágio V4-V5 pela passagem da colhedora no momento da colheita da oleaginosa. A perda de área foliar está diretamente relacionada ao estágio de desenvolvimento do milho e da altura de inserção da primeira vagem da soja (Borghini et al., 2021a). Mesmo com a redução de área foliar, o milho continua seu desenvolvimento, emitindo novas folhas a partir do cartucho danificado e retomando o seu crescimento normal. Isso acontece porque o ponto de crescimento (tecido meristemático) ainda se encontra abaixo da superfície do solo, permanecendo nessa condição até o estágio V6 (Magalhães; Souza, 2020).

Acredita-se, com base em resultados experimentais oriundos de muitos trabalhos relatados na literatura, que a produtividade do milho não vai ser influenciada por essa perda inicial de folhas (Crookston; Hicks, 1988; Silva; Dalchiavon, 2020). A explicação se prende ao fato de que essas folhas são pequenas em tamanho e o seu grau de contribuição para a produção de grãos é muito pequeno (Magalhães; Souza, 2020). Deve-se levar em consideração também que o milho tropical é uma planta “dreno limitante” e não “fonte limitante”, como acontece com os milhos temperados. Assim, com base em vários trabalhos sobre a desfolha, é possível inferir que a redução de área foliar, e consequente perda da fonte de fotoassimilados em V4-V5, não acarreta perda significativa de grãos.

Essa antecipação na semeadura propicia ganhos de produtividade superiores à semeadura tardia, como demonstraram Borghini et al. (2021b) em experimento conduzido em Rio Verde, GO ano agrícola 2020/2021. Comparando-se a produtividade do Sistema Antecipe com a semeadura do milho safrinha semeado fora do calendário agrícola preconizado pelo Zarc para o município, os autores concluíram que os 17 dias de antecipação proporcionados por esse sistema de cultivo, mesmo com a perda de área foliar pela colheita da soja, a menor altura de plantas e de espiga, o menor diâmetro de colmo e o menor comprimento da espiga, o Antecipe proporcionou incremento de produtividade correspondente a 86,5 kg/ha/dia de antecipação, principalmente pelo maior número de espigas, estande final e número de grãos por espiga em comparação à semeadura tardia realizada em 15/3/2021.

Como forma de minimizar as perdas decorrentes da restrição hídrica em milho, a pesquisa tem desenvolvido estratégias para buscar maximizar a produtividade nessas condições através do uso de bioestimulantes. Derivados de trealose aplicados via foliar reduzem os efeitos da deficiência hídrica, aumentando a taxa fotossintética e o transporte de elétrons, além de reduzir os danos causados pela falta de água ao fotossistema II (Ambrósio et al., 2020). Almeida et al. (2020), fazendo o uso da aplicação de quitosana em plantas de milho, observaram redução do efeito negativo do estresse hídrico, através da redução da transpiração e do aumento da defesa contra agentes oxidativos. Marques et al. (2021), analisando a troca de gases e a morfologia radicular de plantas de milho cultivadas em dois regimes hídricos, inoculadas com *Azospirillum brasilense*, concluíram que a inoculação proporciona o estímulo ao crescimento radicular, principalmente em condições mais restritivas de oferta hídrica, melhorando a taxa fotossintética e o uso mais eficiente da água nesta condição.

Referências

- 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**, v. 204, p. 110-119, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.006>.
- ALMEIDA, L. G.; SILVA, M. E.; MAGALHÃES, P. C.; KARAM, D.; REIS, C. O.; GOMES JÚNIOR, C. C.; MARQUES, D. M. Root system of maize plants cultivated under water deficit conditions with application of chitosan. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, e1131, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v19n1p11>.
- AMBRÓSIO, A. S.; PORTUGAL, J. A. N.; SOUZA, K. R. D.; SILVA, L. C.; DIAS, D. F.; MANTOVANI, J. R.; MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. B.; SOUZA, T. C. A mixture of trehalose derivatives mitigates the adverse effects of water deficits in maize: an analysis of photosynthetic efficiency. **Photosynthetica**, v. 58, n. 3, p. 808-818, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.32615/ps.2020.031>.
- ANDRADE, C. de L. T. de; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e manejo da irrigação. 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. p. 419-447.
- AVELAR, B. C. Ciclo de crescimento e desenvolvimento de três cultivares de milho e oito épocas de plantio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., 1984, Maceió. **Anais...** Brasília: Embrapa-DDT, 1984. p. 297-306.
- BEVILACQUA, L. B. **Sazonalidade da concentração de CO₂ atmosférico em uma área agrícola no RS**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- BORGHI, E.; KARAM, D.; FOLONI, J. S. S.; MAGALHÃES, P. C.; GARCIA, R. A. **Aspectos agrônômicos da cultura da soja a serem considerados na implantação do cultivo intercalar antecipado - Antecipe**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021a. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 251).
- BORGHI, E.; KARAM, D.; SILVA, J. R. O.; ALMEIDA, D. P.; FURTINI NETO, A. E. Cultivo intercalar mecanizado de milho segunda safra nas entrelinhas da soja - Antecipe: resultados do ano agrícola 2020/21 em Rio Verde/GO. **Anuário de Pesquisas Agricultura**, v. 4, n. 2, p. 81-92, 2021b.
- CROOKSTON, R. K.; HICKS, D. R. Effect of early defoliation on maize growth and yield: an eleven-year perspective. **Crop Science**, v. 28, n. 2, p. 371-373, 1988. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800020040x>.
- DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 18-33, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.022>.
- FANCELLI, A. L. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, A.; GALVÃO, A. C. C.; PIMENTEL, M. A. (ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2015. p. 50-76.
- KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; CORADINI, D.; VALENDORFF, J. D. P.; VERONESE, M.; DAVID, M. A.; FRANCISCO, E. A. B. Sistemas de produção de grãos no estado de Mato Grosso. In: GALHARDI

JÚNIOR, A.; SIQUERI, F.; CAJU, J.; CAMACHO, S. (ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2013/2014**. Rondonópolis: Fundação MT, 2013. p. 288-299. (Boletim de Pesquisa de Soja, 16).

KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Antecipe**: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 105 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126609>. Acesso em: 13 jan. 2023.

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. p. 68-87.

MAGALHÃES, P. C.; BORGHI, E.; KARAM, D.; PEREIRA FILHO, I. A.; RIOS, S. de A.; ABREU, S. C.; LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; DURÃES, F. O. M. **Desenvolvimento do milho segunda safra**: fatores genético-fisiológicos, plataforma de conhecimento e práticas de manejo de cultivo e uso, visando sustentabilidade de produção e produtividade no binômio soja/milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 42 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 258).

MAGALHÃES, P. C.; GOMES JÚNIOR, C. C.; SOUZA, T. C. Ecofisiologia: impactos do ambiente na planta de milho. In: DUARTE, A. P.; TSUNECIRO, A.; FREITAS, R. S. de (ed.). **3 décadas de inovações na cultura do milho safrinha**: avanços e desafios. Campinas: Instituto Agronômico, 2021.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. Aspectos fisiológicos da desfolha precoce de plantas de milho. In: KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHÃES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Antecipe**: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 34-38.

MARQUES, D. M.; MAGALHÃES, P. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES JÚNIOR, C. C.; SILVA, A. B. da; SOUZA, T. C. de. Gas exchange, root morphology and nutrients in maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense* cultivated under two water conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, e21190580, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190580>.

MERLO, M. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, L. de C. M. da; ARAGÃO, O. O. da S.; BORGHI, E.; MOREIRA, F. M. de S.; THEBALDI, M. S.; RESENDE, A. V. de; SILVA, M. L. N.; SILVA, B. M. Microbiological properties in cropping systems and their relationship with water erosion in the Brazilian Cerrado. **Water**, v. 14, n. 4, article 614, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14040614>.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Levantamento de cultivares de milho para o mercado de sementes**: safra 2020/2021. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 263).

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Disponibilidade de cultivares de milho para o mercado de sementes do Brasil**: safra 2021/2022. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 268).

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; KARAM, D. **Milho**: redução do espaçamento entre linhas: uma adoção tecnológica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 126 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 163).

QU, A. L.; DING, Y. F.; JIANG, Q.; ZHU, C. Molecular mechanisms of the plant heat stress response. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 432, n. 2, p. 203-207, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2013.01.104>.

RIBEIRO, B. S. M. R.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; FRIEDRICH, E. D.; PILECCO, I. B.; ALVES, A. F.; PUNTEL, S.; SARMENTO, L. F. V.; STRECK, I. L.; INKLMAN, V. B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; BORTOLUZZI, M. P.; LOOSE, L. H.; BRUNETTO, G.; MARIN, F. R.; ANTOLIN, L. A. S.; BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L. ; OLIVEIRA, L. F. R. **Ecofisiologia do milho para altas produtividades**. Santa Maria: [s. n.], 2020. 230 p.

SALEHI-LISAR, S. Y.; BAKHSHAYESHAN-AGDAM, H. Agronomic crop responses and tolerance to drought stress. In: HASANUZZAMAN, M. (ed.). **Agronomic crops**. Singapore: Springer, 2020. p. 63-91.

SELEIMAN, M. F.; AL-SUHAIBANI, N.; ALI, N.; AKMAL, M.; ALOTAIBI, M.; REFAY, Y.; DINDAROGLU, T.; ABDUL-WAJID, H. H.; BATTAGLIA, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. **Plants**, v. 10, n. 2, article 259, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10020259>.

SILVA, W. J. C.; DALCHIAVON, F. C. Induced defoliation and corn productivity performance. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 4, p. 128-137, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p128>.

SILVA, J. F. da; GONTIJO NETO, M. M.; SILVA, G. F. da; BORGHI, E.; CALONEGO, J. C. Soil organic matter and aggregate stability in soybean, maize and Urochloa production systems in a very clayey soil of the Brazilian Savanna. **Agronomy**, v. 12, n. 7, article 1652, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12071652>.

SIMÃO, E. de P.; RESENDE, A. V. de; GIEHL, J.; GALVÃO, J. C. C.; BORGHI, E.; OLIVEIRA, A. C. de; GONTIJO NETO, M. M. Agronomic responses to the intensification of grain production systems in dryland farming of central Minas Gerais State, Brazil. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 96, n. 1, p. 277-293, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v96i1.4266>.

VIEIRA JÚNIOR, P.A. Milho (*Zea mays* L.). In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (coord.). **Ecofisiologia de cultivos anuais: trigo, milho, soja, arroz, mandioca**. São Paulo: Nobel, 1999. p. 41-71.

WIJewardana, C.; HENRY, W. B.; HOCK, M. W.; REDDY, K. R. Growth and physiological trait variation among corn hybrids for cold tolerance. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, n. 4, p. 639-656, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0286>.

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiologia Plantarum**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>.

Embrapa

Milho e Sorgo

CGPE 018191

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO