

GUIA COMPLETO SOBRE FISILOGIA DO MILHO

**MELHORE O MANEJO E A
PRODUTIVIDADE CONHECENDO
TODOS OS FATORES
FISIOLÓGICOS DA CULTURA**

SUMÁRIO



APRESENTAÇÃO

1. O que é o milho?	4
1.1 Grão mais produzido do mundo	4
1.2 Importância econômica do milho no Brasil e no mundo	5
1.3 Qual é a história do milho?	6
2. Conheça o ancestral do milho, o teosinto	7
3. Importância em ampliar o conhecimento sobre a planta	9
4. A fisiologia do milho	10
4.1 Estádios de desenvolvimento do milho	12
4.2 Germinação e Emergência (Estádio VE)	15
4.3 Três folhas completamente desenvolvidas (Estádio V3)	16
4.4 Seis folhas desenvolvidas (Estádio V6)	17
4.5 Nove folhas desenvolvidas (Estádio V9)	18
4.6 Definição do potencial de grãos e tamanho da espiga (Estádio V12)	19
4.7 Fixação de rendimento (Estádio V15)	20
4.8 Os “cabelos” do milho (Estádio V18)	21
4.9 Pendoamento (Estádio VT)	22
4.10 Embonecamento e Polinização (Estádio R1)	24
4.11 Grão Bolha d’Água (Estádio R2)	25
4.12 Grão Leitoso (Estádio R3)	26
4.13 Grão Pastoso (Estádio R4)	27
4.14 Formação de dente (Estádio R5)	28
4.15 Maturidade Fisiológica (Estádio R6)	30
5. Importantes fatores que afetam o desenvolvimento fisiológico do milho	31
6. O impacto das condições climáticas sobre a fisiologia do milho safrinha	39
7. Conhecer os aspectos fisiológicos potencializa o desempenho da lavoura	41

APRESENTAÇÃO

Para a Civilização Maia, o milho simboliza **prosperidade**. Cultivado atualmente em todo mundo, esse cereal de história milenar não apenas é base da alimentação de muitos povos, como também é sinônimo de geração de riquezas.

O maior produtor mundial são os EUA, mas o crescimento produtivo do Brasil na última década alçou o país à condição de **maior exportador do grão em 2019**. Em 2020, a cultura foi responsável por 11% da rentabilidade do agronegócio nacional.

No entanto, o **protagonismo do milho no agro brasileiro** só tem sido possível porque instituições e produtores têm buscado mais conhecimento sobre a cultura, o que possibilita aperfeiçoar manejos, aumentar a produção e desenvolver tecnologias.

E se o objetivo é **ampliar a produtividade do milho** e encontrar as **condições ideais para o seu desenvolvimento**, uma área do conhecimento é imprescindível: a fisiologia.

Visando auxiliá-lo a obter resultados ainda melhores com a cultura, a equipe da **Climate FieldView™** – plataforma de agricultura digital da **Bayer** – preparou este material específico sobre **fisiologia do milho**.

1 O que é o milho?

Um grão de infinitas utilidades. É assim que o milho (***Zea mays L.***) é considerado em diferentes países. É item fundamental na alimentação em muitas culturas, sendo consumido *in natura* ou como **matéria-prima** para a fabricação de inúmeros produtos.

Mas além de ser usado na indústria alimentícia, também é processado, por exemplo, pelas indústrias cervejeira, química, de combustíveis, de cosméticos, de extração de óleo e de nutrição animal.

Antes de abordarmos especificamente a **fisiologia dessa planta**, vamos conhecê-la melhor, enfocando aspectos como história, produção e importância econômica.

1.1 Grão mais produzido do mundo

Não por acaso o **milho é o grão mais produzido pela agricultura mundial**. Confira a produção global dos quatro grãos mais cultivados na safra 2020/21 (USDA):

- Milho – 1,15 bilhão de t;
- Trigo – 776 milhões de t;
- Arroz – 514 milhões de t;
- Soja – 363 milhões de t.

+++ O milho é o grão mais cultivado no mundo. Na safra 2020/21, a produção foi de 1,15 bilhão de t.

1.2 Importância econômica do milho no Brasil e no mundo

Além de utilizado amplamente na alimentação humana, o milho é matéria-prima para a **produção de etanol** e cerca de 70% de todo grão produzido no mundo é destinado à **fabricação de ração de animais**, fora outras aplicações.

Num cenário global em que o milho tem importância cada vez maior, a produção brasileira deu um salto de 40% na última década, posicionando o país como **terceiro maior produtor mundial** e um dos maiores exportadores.

Dentre os produtos que geraram maior faturamento no agronegócio brasileiro em 2020, o milho ficou na terceira posição, atingindo o patamar de **R\$ 99,5 bilhões**, segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

+++ A produção brasileira de milho deu um salto de 40% na última década, posicionando o país como terceiro maior produtor mundial.



Segundo a Conab, a produção brasileira de milho ultrapassou 115 milhões de toneladas na safra 2021/22 (33% a mais do que na safra anterior)

1.3 Qual é a história do milho?

Para ter o destaque que ocupa hoje na alimentação e na economia mundial, o milho percorreu uma longa trajetória que começou 12 mil anos atrás.

A primeira espiga de milho foi encontrada por arqueólogos na **região Centro-Sul do México**. Já o primeiro cultivo da cultura que se tem registro ocorreu há cerca de 4 mil anos na região do Peru.

Por séculos, foi a base da subsistência de povos pré-colombianos, como maias, astecas, incas e olmecas. A palavra milho é oriunda do latim milium, que vem do numeral mil por conta da grande quantidade de grãos em cada espiga.

Em 1493, Cristóvão Colombo conheceu o milho ao chegar às Américas, levando diferentes variedades do grão quando retornou à Europa.

No fim do século XVI, o seu cultivo já tinha se espalhado por todos os continentes e se adaptado a diversos ambientes e climas. No Brasil, a cultura já era plantada pelos indígenas antes da chegada dos portugueses.



+++ LEIA MAIS: 150 sacas a mais!
Agricultura Digital auxilia na
produtividade do milho

2 Conheça o ancestral do milho, o teosinto

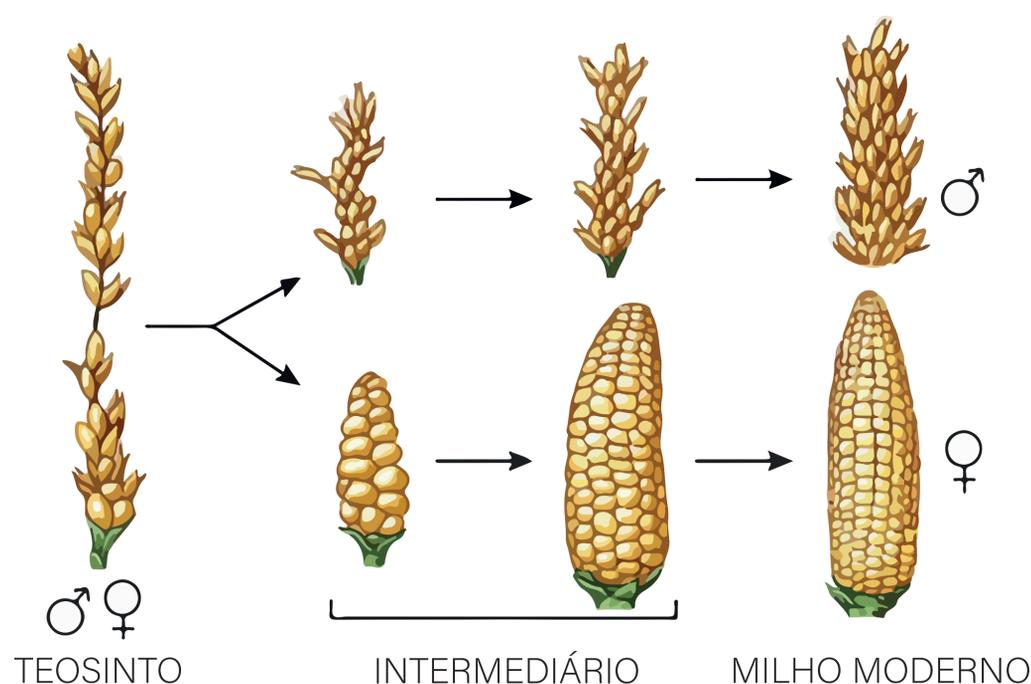
De acordo com pesquisa divulgada pela Revista Science (2018), **a história do milho** começa com seu ancestral selvagem, uma gramínea chamada teosinto (*Zea mexicana* L).

Essa espécie tem pouca semelhança com o milho conhecido atualmente, pois suas **espigas são pequenas** e seus poucos grãos são protegidos por uma espécie de invólucro praticamente impenetrável.

Do mato ao prato: processo evolutivo do milho a partir do teosinto

SELEÇÃO ARTIFICIAL DO MILHO

Milho e seus ancestrais



Fonte: BiologyWriter

É uma incógnita o motivo que levou os agricultores/indígenas a semearem áreas com o teosinto milênios atrás.

Mas devemos agradecê-los, porque, com o tempo, os produtores foram selecionando os materiais e obtendo plantas **mais interessantes para o consumo**: com espigas maiores e grãos mais macios e abundantes.

Essa seleção do teosinto e que originou o milho se iniciou há cerca de 9 mil anos, segundo os pesquisadores. Porém, o verdadeiro ancestral do milho é o teosinto que cresce naturalmente no **Sul do México**. A espécie de outras regiões da América Central não tem a mesma similaridade genética com o milho.



*A seleção do teosinto (*Zea mexicana* L) natural da região Sul do México originou o milho*

3

Importância em ampliar o conhecimento sobre a planta

O milho tem apresentado avanços significativos nas mais diversas áreas do **conhecimento agrônomo**, propiciando melhor compreensão sobre suas relações com o ambiente e a produção agrícola.

Considerando que o milho é uma **atividade agrícola extensiva em todo o mundo**, é premente o aprendizado contínuo sobre essa planta em diferentes áreas, bem como sobre seus ambientes de produção, sempre em sintonia com a evolução do cenário agrícola.

Diante desse desafio, conhecer a fisiologia do milho é primordial. Mas antes de nos aprofundarmos nos aspectos fisiológicos dessa planta, vale a pena mencionar uma definição de FLOSS (2006) sobre essa área do conhecimento:

“A fisiologia é um ramo da botânica que se dedica ao estudo do funcionamento dos vegetais, ou seja, trata dos processos vitais que ocorrem nas plantas. Constitui-se na base fundamental do manejo de plantas extensivas de lavoura [...] na biotecnologia/ engenharia genética e na conservação de produtos de origem vegetal (fisiologia pós-colheita)”



4 A fisiologia do milho

O milho é uma planta que pertence **à família Gramineae/ Poaceae**. O caráter monóico e a sua morfologia característica resultam da supressão, condensação e multiplicação de gramíneas (MAGALHÃES ET AL, 2002).

É uma planta monóica porque apresenta, ao mesmo tempo, **flores masculinas** (pendão ou flecha) e **femininas** (espiga).

O milho é uma espécie estival, cespitosa, ereta, com baixo afilamento, classificada no grupo das plantas C-4 e tem ampla adaptação a diferentes condições de ambiente.

Suas espiguetas masculinas são reunidas em espigas verticiladas terminais, onde se desenvolvem os grãos. Denominado cariopse, **o grão é fruto da planta**, em que o pericarpo está fundido com o tegumento da semente propriamente dita.

+++ O milho é uma planta monóica porque apresenta, ao mesmo tempo, flores masculinas (pendão ou flecha) e femininas (espiga).

As espiguetas femininas se soldam num eixo comum em que várias ráquis estão reunidas (**sabugo**) e protegidas por brácteas (**espiga de milho**). A **flor feminina** apresenta um único estigma (barba-do-milho, cabelo).

Os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho podem ser modificados por meio da interação com os fatores ambientais que afetam o seu desenvolvimento.

Por isso, de modo geral, a **seleção natural e o processo de domesticação** que o milho passou ao longo do tempo lhe conferiram características interessantes ao cultivo e consumo humano, como:

- **Ciclo anual,**
- **Planta robusta e ereta,**
- **Notável produção de grãos.**



O grão do milho é o fruto da planta, sendo que inúmeros são produzidos em cada espiga

4.1 Estádios de desenvolvimento do milho

O crescimento e desenvolvimento de uma planta de milho é dividido em dois grandes estádios: **vegetativo e o reprodutivo**.

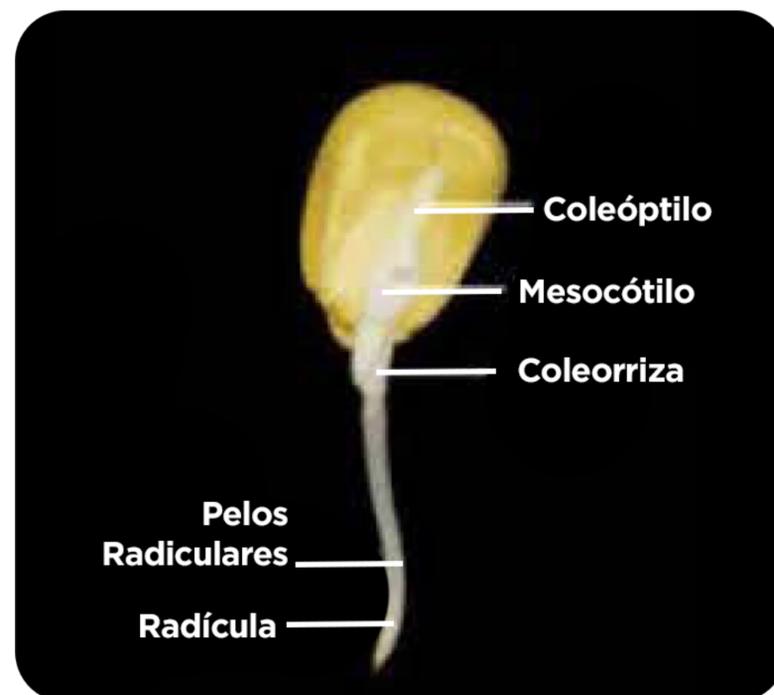
Da semente plantada no sulco – que pesa em torno de 0,3 g – normalmente nasce uma **planta que tem entre 2 e 2,5 metros de altura** em um período aproximado de nove semanas.

Nos meses seguintes, cada planta **produz cerca de 600 a 1.000 sementes** similares àquela da qual se originou. (ALDRICH et al., 1982).

As espigas ficam maduras **50 dias depois da floração**. No entanto, esse processo depende da maneira como o plantio é realizado, da espécie do milho semeada e das condições climáticas da região. Já a colheita do milho acontece entre 4 e 6 meses após o plantio.

Para facilitar o acompanhamento das fases de desenvolvimento da planta, confira os **7 principais componentes de uma plântula de milho**:

- 1** Envoltório da semente (pericarpo): Composto por 5 a 6% peso total da semente;
- 2** Endosperma (amido): Compõe 83% do peso do total da semente e é composto de uma camada externa de amido rígido ao redor de um núcleo de amido interno maleável;
- 3** Embrião (germe): Compõe 11% do peso total da semente e consiste de uma plúmula (planta embrionária) e o escutelo (cotilédone ou folha de sementes);
- 4** Coleóptilo: Bainha de proteção que envolve o ponto de crescimento;
- 5** Mesocótilo: Primeiro internódio ou parte do colmo entre o cotilédone e o primeiro nó;
- 6** Radícula: Radicela ou raiz primária;
- 7** Coleorriza: Bainha de proteção que envolve a radícula.



Fonte: Iowa State University Extension

Todas as plantas de milho seguem um mesmo padrão de desenvolvimento. É crucial conhecer as diferentes **fases de crescimento da planta do milho** (desde a emergência até a maturidade fisiológica) para um manejo eficiente da cultura.

Mas o intervalo de tempo entre os estádios e o número total de folhas desenvolvidas pode variar entre híbridos, ano agrícola, data de plantio e local. Consideremos, a seguir, um genótipo de ciclo normal, de floração aos 65 dias após a emergência.

Durante a fase vegetativa, cada estágio é definido de acordo com a formação visível do colar da bainha da folha com o colmo. Por isso, a primeira folha de cima para baixo é considerada completamente desenvolvida quando o colar é visível.

SISTEMA DE IDENTIFICAÇÃO (Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho)	
VEGETATIVO	REPRODUTIVO
VE, emergência	R1, Embonecamento
V1, 1ª folha desenvolvida	R2, Bolha d'água
V2, 2ª folha desenvolvida	R3, Leitoso
V3, 3ª folha desenvolvida	R4, Pastoso
V4, 4ª folha desenvolvida	R5, Formação de dente
V(n), nº folha desenvolvida	R6, Maturidade Fisiológica
VT, pendoamento	

4.2 Germinação e Emergência (Estádio VE)

Em condições normais de campo, as sementes plantadas absorvem água, incham e começam a crescer. A radícula é a primeira a se alongar, seguida pelo coleoptilo (primeira estrutura que cresce em uma nova planta), originando a primeira folha propriamente dita.

O estágio VE é atingido pela pelo rápido alongamento do mesocótilo (primeiro internódio), que empurra o coleóptilo, em crescimento, para a superfície do solo. Em condições de temperatura e umidade adequadas, a planta emerge dentro de 4 a 5 dias.

Em baixa temperatura e pouca umidade, a germinação pode demorar até duas semanas ou mais. Assim que a emergência ocorre e a planta expõe a extremidade do coleoptilo, o mesocótilo para de crescer.

A lentidão na germinação predispõe a semente e a plântula a uma menor resistência a condições ambientais adversas, bem como ao ataque de patógenos, principalmente fungos.

+++ Em condições de temperatura e umidade adequadas, a planta emerge dentro de 4 a 5 dias. Já em baixa temperatura e pouca umidade, a germinação pode demorar até duas semanas ou mais.



+++ LEIA MAIS: Produção 30% maior: produtor de milho ganha mais ao utilizar a prescrição de insumos

Neste estágio, o ponto de crescimento está localizado cerca de 2,5 a 4,0 cm abaixo da superfície do solo e se encontra logo acima do mesocótilo. É nessa profundidade em que se origina o sistema radicular definitivo do milho, conhecido como raízes nodais ou fasciculadas.

De acordo com MAGALHÃES et al. (1994), o sistema radicular nodal (de coroa) se inicia no estágio VE e o alongamento das primeiras raízes se inicia no estágio V1 indo até o R3, após o qual muito pouco crescimento ocorre.

No milho, não é constatada a presença de fatores inibidores ao processo de germinação, pois, sob condições ótimas de umidade, os grãos podem germinar imediatamente após a maturidade fisiológica, mesmo ainda estando presos à espiga.



Em condições de temperatura e umidade adequadas, o milho emerge dentro de 4 a 5 dias



+++ LEIA MAIS:

Cigarrinha-do-milho: saiba como identificar o inseto e as doenças que transmite à cultura

4.3 Três folhas completamente desenvolvidas (Estádio V3)

Ocorre com, aproximadamente, duas semanas após o plantio. Neste estágio, o ponto de crescimento ainda se encontra abaixo da superfície do solo e a planta possui ainda pouco caule formado.

É hora de as folhas e espigas (que a planta eventualmente irá produzir) estarem sendo formadas. No V3 existe o estabelecimento do número máximo de grãos ou a definição da produção potencial.

Já no estágio V5, vai estar completa tanto a iniciação das folhas como das espigas e, mesmo que timidamente, já ocorre a iniciação do pendão na extremidade de formação do caule, logo abaixo da superfície do solo.

Nesse estágio, a planta precisa muito de água, mas o excesso de umidade ou encharcamento – considerando que o ponto de crescimento ainda se encontra abaixo da superfície do solo – pode matá-la em poucos dias.

É atenção com o controle de plantas daninhas, minimizando a competição por luz, água e nutrientes. Como o sistema radicular está em pleno desenvolvimento, operações inadequadas de cultivo podem afetar a densidade e distribuição de raízes.

+++ Quando a planta tem três folhas completamente desenvolvidas, ela precisa muito de água, mas o excesso de umidade ou encharcamento podem matá-la em poucos dias.

4.4 Seis folhas desenvolvidas (Estádio V6)

Neste estágio, o ponto de crescimento da planta e o pendão estão acima do nível do solo e o colmo está iniciando um período de alongamento acelerado. O sistema radicular nodal está em pleno funcionamento e em crescimento.

Os perfilhos já começam a aparecer neste estágio. Isso está relacionado a fatores como genética do híbrido, estado nutricional da planta, espaçamento adotado, ataque de pragas, estresse hídrico e alterações bruscas de temperatura.

No estágio V8, inicia-se a queda das primeiras folhas e o número de fileiras de grãos é definido. Neste estágio, a planta tolera o excesso de chuvas, mas o encharcamento por períodos de tempo maiores que cinco dias acarreta prejuízos.

O estresse hídrico nesta fase pode afetar o comprimento de internódios, provavelmente pela inibição do alongamento das células em desenvolvimento, concorrendo desse modo para a diminuição da capacidade de armazenagem de açúcares no colmo.

O déficit de água também resulta em colmos mais finos, plantas de menor porte e menor área foliar (MAGALHÃES et al., 1998).

Indica-se que, do V6 ao V8, seja feita a aplicação de adubação nitrogenada em cobertura.

+++ Todos os nós da planta têm potencial para produzir uma espiga, exceto os últimos 6 a 8, que estão abaixo do pendão.

4.5 Nove folhas desenvolvidas (Estádio V9)

Todos os nós da planta têm potencial para produzir uma espiga, exceto os últimos 6 a 8, que estão abaixo do pendão. E nessa fase muitas espigas já são facilmente visíveis se for feito um exame minucioso.

Uma planta de milho teria potencial para produzir várias espigas, porém apenas uma ou duas conseguem completar o crescimento por conta do caráter prolífico (fecundidade).

Ocorre alta taxa de desenvolvimento de órgãos florais, o pendão inicia um rápido desenvolvimento e o caule continua alongando. Esse processo de alongamento do caule ocorre através dos entrenós.

No estágio V10 o tempo entre um estágio foliar e outro encurta, ocorrendo, geralmente, a cada 2 ou 3 dias. Também há o início de um crescimento com acumulação de nutrientes e peso seco, o que continua até as fases reprodutivas. É grande a demanda por água e nutrientes.

+++ No V12, o número de fileiras de grãos na espiga já está estabelecido, mas a determinação do número de grãos/fileira só ocorre cerca de uma semana antes do florescimento.

4.6 Definição do potencial de grãos e tamanho da espiga (Estádio V12)

O número de óvulos (grãos em potencial) em cada espiga, assim como o tamanho da espiga, são definidos em V12, quando ocorre perda de duas a quatro folhas basais. Pode-se considerar que nesta fase inicia-se o período mais crítico para a produção, o qual estende-se até a polinização.

O número de fileiras de grãos na espiga já está estabelecido. No entanto, a determinação do número de grãos/fileira só ocorre cerca de uma semana antes do florescimento, em torno do estágio V17 (MAGALHÃES et al., 1994).

Em V12 a planta atinge cerca de 85% a 90% da área foliar, e se observa o início de desenvolvimento das raízes adventícias (“esporões”).

Como a quantidade de óvulos e o tamanho das espigas são definidos nesta fase, a deficiência de umidade ou nutrientes pode reduzir o número potencial de sementes, assim como o tamanho das espigas a serem colhidas. É grande a demanda por água e nutrientes.



4.7 Fixação de rendimento (Estádio V15)

Este estágio representa a continuação do período mais importante e crucial para o desenvolvimento da planta, em termos de fixação do rendimento. Desse ponto em diante, um novo estágio foliar ocorre a cada 1 ou 2 dias. Estilos-estigmas (cabelo, barba do milho) começam a crescer nas espigas.

Em torno do estágio V17 as espigas atingem um crescimento tal que suas extremidades já são visíveis no caule, assim como a extremidade do pendão já pode também ser observada (MAGALHÃES et al. 1994).

Estresse de água no período de duas semanas antes até duas semanas após o florescimento causa grande redução na produção de grãos (BERGAMASCHI et al., 2004; MAGALHÃES e DURÃES, 2008).



No estágio V17 as espigas já são visíveis no caule, assim como a extremidade do pendão

4.8 Os “cabelos” do milho alongam-se (Estádio V18)

É possível observar que os “cabelos” ou estilos–estigmas dos óvulos basais alongam-se primeiro em relação aos “cabelos” dos óvulos da extremidade da espiga.

As raízes aéreas, oriundas dos nós acima do solo, estão em crescimento – elas contribuem na sustentação da planta e na absorção de água e nutrientes. Em V18 a planta do milho se encontra a uma semana do florescimento e o desenvolvimento da espiga continua em ritmo acelerado.

O florescimento nada mais é do que a consequência de uma transição: da fase vegetativa para a reprodutiva, a qual é resultante da ação de efeitos ambientais e sinais internos promovidos por genes (CASTRO, 2010).

O estresse hídrico nesse período pode afetar mais o desenvolvimento do óvulo e da espiga do que o desenvolvimento do pendão. Se houver esse atraso do óvulo, pode haver problemas na sincronia entre emissão de pólen e recepção pela espiga.

A perda desse sincronismo favorece o aumento da porcentagem de espigas sem grãos nas extremidades.

Caso o estresse seja severo, ele pode atrasar a emissão do “cabelo” até a liberação do pólen terminar, ou seja, os óvulos que porventura emitirem o “cabelo” após a emissão do pólen não serão fertilizados e, por conseguinte, não contribuirão para o rendimento, segundo MAGALHÃES (1999).

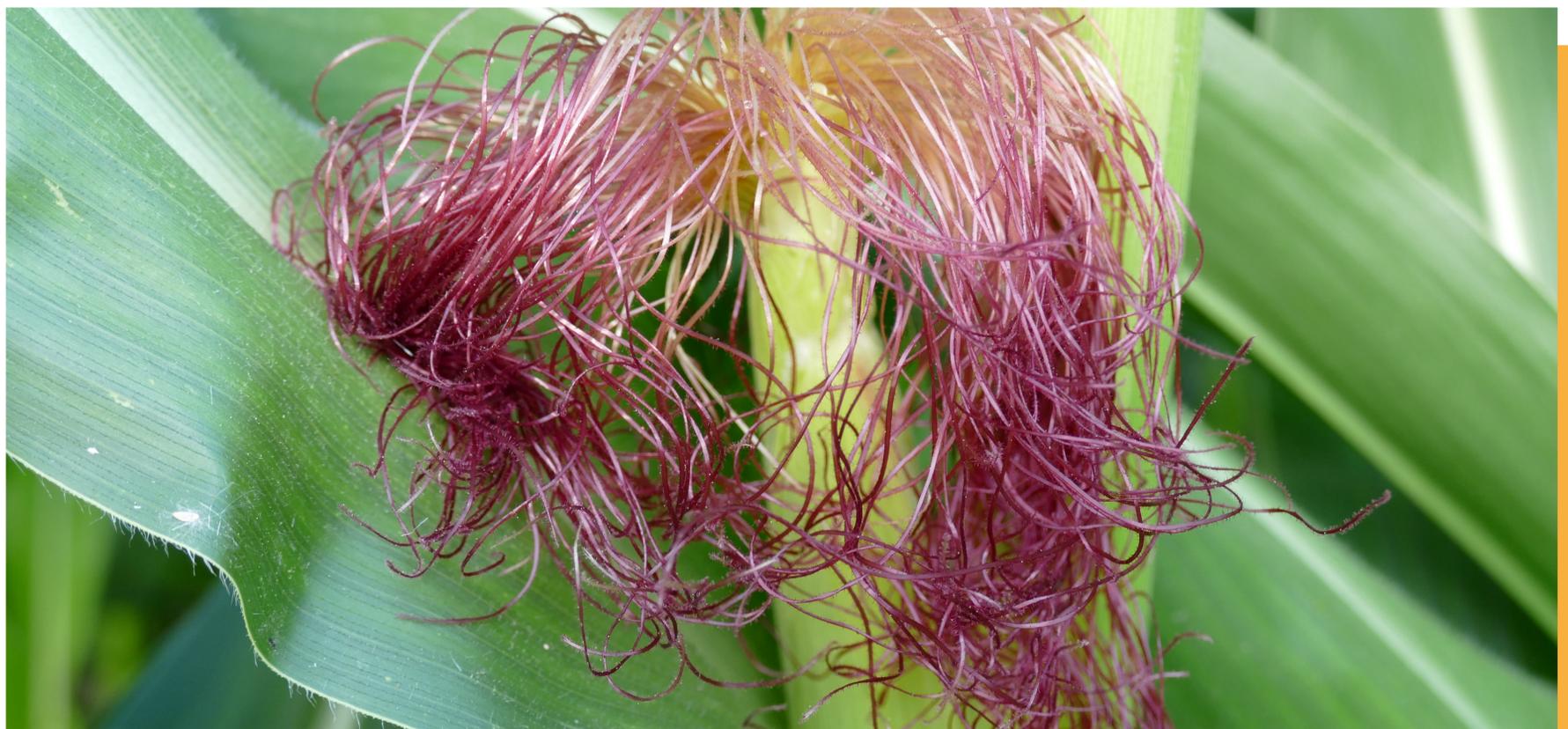
+++ O florescimento nada mais é do que a consequência de uma transição: da fase vegetativa para a reprodutiva.

4.9 Pendoamento (Estádio VT)

Este estágio inicia-se quando o último ramo do pendão está completamente visível e os “cabelos” ainda não emergiram.

A emissão da inflorescência masculina antecede de 2 a 4 dias a exposição dos estilo-estigmas. No entanto, 75% das espigas devem ter seus estilos-estigmas expostos após o período de 10-12 dias posterior ao aparecimento do pendão.

O tempo entre VT e R1 pode variar dependendo do híbrido e das condições ambientais.



A inflorescência masculina antecede de 2 a 4 dias a exposição dos estilo-estigmas

A liberação do pólen no campo geralmente ocorre no final das manhãs e início das noites. Neste estágio a planta atinge o máximo desenvolvimento e crescimento.

Um pendão de tamanho médio chega a ter 2,5 milhões de grãos de pólen, ou seja, a espiga, em condições normais, dificilmente deixará de ser polinizada pela falta de pólen, desde que o número de óvulos seja em torno de 750 e 1000.

Durante esse tempo, cada “cabelo” individual deve emergir e ser polinizado para resultar num grão.

Do estágio VT ao R1 (que vamos conhecer a seguir) a planta de milho é mais vulnerável às intempéries da natureza do que nos outros períodos, porque o pendão e as folhas estão completamente expostos.

Remover ou perder folhas neste período pode resultar em perda de produtividade. O período de liberação do pólen se estende por uma a duas semanas.

+++ Do estágio VT ao R1 a planta de milho é mais vulnerável às intempéries da natureza do que nos outros períodos, porque o pendão e as folhas estão completamente expostas.



Polinização ocorre quando o pólen liberado pelo pendão é capturado por um dos estilo-estígmata da espiga

4.10 Embonecamento e Polinização (Estádio R1)

Neste estágio, os cabelos estão visíveis, para fora das espigas. A polinização ocorre quando o grão de pólen liberado é capturado por um desses cabelos (estilo-estígmata). O pólen, ao ter esse contato, demora 24 horas para percorrer o tubo polínico e fertilizar o óvulo.

Geralmente o período para todos os estilo-estígmata de uma espiga serem polinizados é de 2 a 3 dias. Os “cabelos” crescem de 2,5 a 4,0 cm por dia e continuam a se alongar até serem fertilizados.

O número de óvulos fertilizados é determinado neste estágio. Os que não forem fertilizados não produzem grãos. Estresse nesta fase, especialmente o hídrico, causa baixa polinização e baixa granação da espiga.

Não se deve descuidar de insetos, como a lagarta-da-espiga, que se alimentam dos “cabelos”.

O ambiente pode ter grande influência nessa fase de desenvolvimento. O número de óvulos fertilizados apresenta correlação com:

- o estado nutricional da planta,
- a temperatura,
- a condição de umidade contida no solo e no ar.

Por isso, o ideal é que a cultura seja bem planejada, com destaque para fatores como época de semeadura e escolha da cultivar. Assim, é possível assegurar as condições climáticas favoráveis neste estágio.

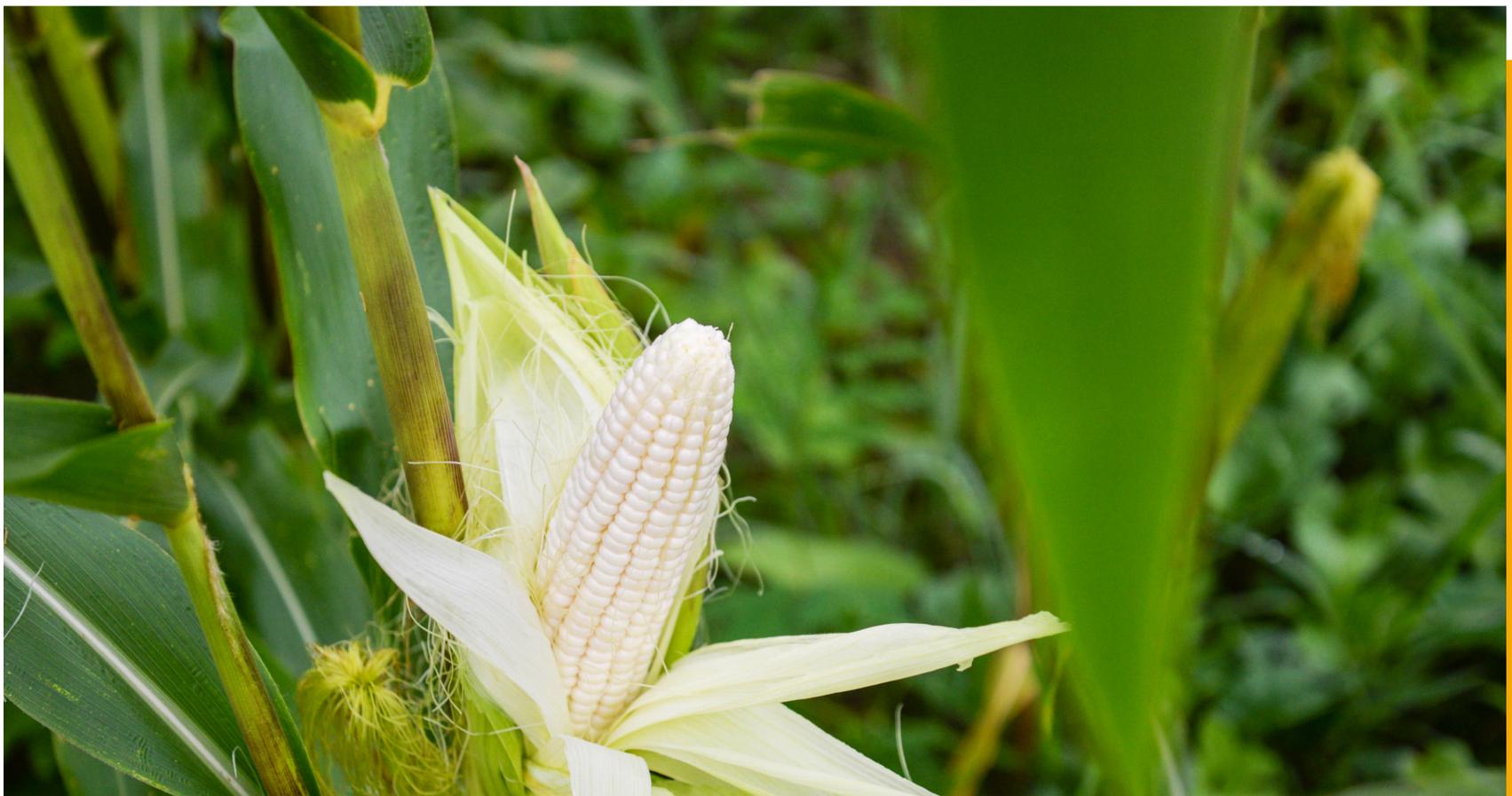
+++ No embonecamento e polinização, o ambiente tem grande influência. Por isso, as condições climáticas precisam ser favoráveis.

4.11 Grão Bolha d'Água (Estádio R2)

Os grãos se apresentam brancos na aparência externa e com aspecto de uma bolha d'água. Embora o embrião esteja ainda se desenvolvendo, a radícula, o coleóptilov e a primeira folha embrionária já estão formados.

Por isso, dentro do embrião em desenvolvimento já se encontra uma planta de milho em miniatura. A espiga está próxima de atingir seu tamanho máximo. Já os estilos-estígmias estão escurecidos e começam a secar, depois de cumprirem a função no florescimento.

Neste estágio se inicia a acumulação de amido – os grãos têm período de rápida acumulação de matéria seca. Esse rápido desenvolvimento continuará até o estágio R6. A umidade de 85% nos grãos nesta fase começa a diminuir até a colheita.



Os grãos são brancos na aparência externa e têm aspectos de uma bolha d'água na fase R2

4.12 Grão Leitoso (Estádio R3)

De 12 a 15 dias após a polinização o grão se apresenta com uma aparência amarela e, no seu interior, um fluido de cor leitosa. Isso representa o início da transformação dos açúcares em amido, o que contribui para o incremento de seu peso seco.

Esse processo decorre da translocação dos fotoassimilados das folhas e do colmo para a espiga e os grãos em formação. A eficiência dessa translocação, além de ser importante para a produção, é muito dependente de água. Este estágio é conhecido como aquele em que ocorre a definição da densidade dos grãos, que apresentam rápida acumulação, e têm cerca de 80% de umidade.

O rendimento final depende do número de grãos em enchimento (desenvolvimento) e do tamanho final (enchimento) que eles alcançarão. Um estresse hídrico nesta fase, embora menos crítico que na fase anterior, pode afetar a produção (BERGAMASCHI et al, 2004).

Neste período, a fotossíntese continua sendo imprescindível. Isso porque se considera como importante fator de produção a extensão da área foliar que permanece fisiologicamente ativa após a emergência da espiga. Também ocorre a translocação de N e P para os grãos em formação.

O R3 tem importância especial para as lavouras que são dedicadas à produção de sementes, uma vez que se inicia o processo de diferenciação do coleóptilo, da radícula e das folhas rudimentares.

+++ De 12 à 15 dias após a polinização, o grão se apresenta com uma aparência amarela. Inicia-se a transformação dos açúcares em amido, contribuindo para o incremento de seu peso seco.

4.13 Grão Pastoso (Estádio R4)

Entre 20 e 25 dias após a emissão dos estilo-estígmata chega-se ao R4. Neste momento os grãos continuam se desenvolvendo e acumulando amido. O fluido interno dos grãos passa de um estado leitoso para uma consistência pastosa.

Em campo, para perceber isso, basta pressionar o grão com os dedos para perceber que estão relativamente consistentes em relação ao estágio R3 (grão leitoso).

É um período destinado ao ganho de peso por parte do grão, que se encontra com 70% de umidade e já acumulou cerca da metade do peso que irá atingir na maturidade.



36 dias após a polinização começam a aparecer os dentes na espiga

4.14 Formação de dente (Estádio R5)

Nesta fase, aparece uma concavidade na parte superior do grão, comumente designada de “dente”, que coincide normalmente com o 36º dia após o princípio da polinização.

Os grãos encontram-se em fase de transição do estado pastoso para o farináceo. A divisão desses estádios é feita pela chamada linha divisória do amido ou linha do leite, que aparece logo após a formação do dente e com a maturação avançando em direção à base do grão. O embrião continua se desenvolvendo.

O estresse ambiental nesta fase pode antecipar a formação da camada preta, indicadora da maturidade fisiológica, em que os grãos têm 55% de umidade. Materiais para silagem devem ser colhidos neste estádio, pois as plantas apresentam em torno de 33% a 37% de matéria seca.

Quando a camada preta se forma na base do grão, ocorre o bloqueio do movimento de matéria seca e nutrientes da planta para os grãos da espiga.

+++ Entre 50 e 60 dias após a polinização, os grãos da espiga atingem a máxima acumulação de peso seco e vigor.



+++ LEIA MAIS: Colheita de Milho: como saber se o milho está pronto?



Quando o milho se destina à silagem, os grãos devem ter por volta de 55% de umidade

4.15 Maturidade Fisiológica (Estádio R6)

Entre 50 e 60 dias após a polinização, os grãos da espiga atingem a máxima acumulação de peso seco e vigor. Nesse estágio, a linha do amido já avançou até a espiga e a camada preta já foi formada. Essa camada preta ocorre progressivamente da ponta da espiga para a base.

Neste estágio, além da paralisação total do acúmulo de matéria seca nos grãos, acontece também o início do processo de senescência natural das folhas das plantas, que começam a perder a sua coloração verde característica (RITCHIE & HANWAY, 1989; MAGALHÃES et al., 1994).

Este ponto é o momento ideal para a colheita, ou ponto de máxima produção, com 30–38% de umidade, o que pode variar entre diferentes híbridos.

No entanto, o grão não está ainda em condições de ser colhido e armazenado com segurança, uma vez que deveria estar com 13% a 15% de umidade para evitar problemas com a armazenagem.

Mas a colheita já pode acontecer com cerca de 18–25% de umidade, desde que o produto colhido passe por uma secagem artificial antes de ser armazenado.

Para realizar a colheita dentro da umidade ideal, o produtor pode utilizar da agricultura digital, como fazer o mapeamento da operação com o **FieldView™ Drive**. Esse dispositivo da plataforma **Climate FieldView™, da Bayer**, gera mapas de umidade da colheita, em tempo real, permitindo interromper a operação caso a umidade esteja fora do recomendado.

A partir do momento da formação da camada preta, que nada mais é do que a obstrução dos vasos, rompe-se o elo da planta-mãe com o fruto, passando o mesmo a apresentar vida independente.



O milho já está pronto para a colheita quando atinge o estágio reprodutivo R6



+++ LEIA MAIS: Armazenagem de grãos: quais os cuidados na operacionalização da colheita?

5

Importantes fatores que afetam o desenvolvimento fisiológico do milho

5.1 O milho e a disponibilidade de água

Planta de origem tropical, o milho exige calor e água durante seu ciclo vegetativo para se desenvolver e produzir satisfatoriamente, proporcionando rendimentos compensadores.

A cultura exige entre 400mm e 600mm de precipitação para que tenha boa produção, sem a necessidade de irrigação.

Segundo MAGALHÃES (et al., 2002), a absorção da água do solo atende às necessidades fisiológicas da planta, o que supre a sua necessidade em nutrientes. Eles são transportados junto com a água, sob a forma de fluxo de massa.

As maiores exigências de água no milho se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão (FRANCELLI, 2015).

No entanto, existe um período crítico: entre 15 dias antes (emborrachamento) e 15 dias após o aparecimento da inflorescência masculina (grãos leitosos). Essa fase requer suprimento hídrico satisfatório e temperaturas adequadas.



As maiores exigências de água no milho se concentram na fase de emergência, florescimento e formação do grão

Reforçando essa informação, MAGALHÃES (2002) destaca que a falta de água, associada à produção de grãos, é particularmente importante em três estádios da planta:

a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado;

b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado. Nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico;

c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, a qual está intimamente relacionada à fotossíntese – o estresse resulta na menor produção de carboidratos, o que implica em menor volume de matéria seca nos grãos (MAGALHÃES et al., 1995).

Condições de estresse por deficiência hídrica, além de nebulosidade prolongada e deficiências nutricionais próximas ao florescimento, além de elevada população, afetam o sincronismo “pendão-espiga”, provocando o retardamento da emissão dos estilos-estigmas.



A cultura exige entre 400mm e 600mm de precipitação para que tenha boa produção, sem a necessidade de irrigação

Restrições causadas pela baixa disponibilidade de água no solo ou alta demanda evaporativa acionam certos mecanismos fisiológicos que permitem aos vegetais escapar ou tolerar eventuais limitações climáticas.

Isso pode modificar o seu crescimento e desenvolvimento, e até mesmo atenuar as reduções na produção final.

Dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%; quatro a oito dias diminuem em mais de 50%.

No milho, a água está relacionada também à fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implica em menor disponibilidade de CO_2 , além de limitação dos processos de alongação celular (DEVLIN, 1975; SALISBURY & ROSS, 1982; KLAR, 1984).



+++ LEIA MAIS:

150 sacas a mais! Agricultura Digital auxilia na produtividade do milho

5.2 Condições climáticas ideais para o milho

Considerando a demanda crescente pelo grão, as regiões do mundo em que sua produção é viável tem aumentado, por conta da seleção orientada de genótipos e do aprimoramento de métodos de manejo, abrangendo diferentes climas e altitudes.

No entanto, de acordo com Antonio Luiz Fancelli, engenheiro agrônomo e doutor e docente no Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, as condições climáticas ideais de caráter genérico para o desenvolvimento deste cereal são:

- **Semeadura** – o solo deverá apresentar-se com temperatura superior a 15°C (ideal: superior a 18°C), aliada à umidade, que deve estar próxima à capacidade de campo, possibilitando o desencadeamento normal dos processos de germinação e emergência;
- **Desenvolvimento vegetativo** – a temperatura do ar deverá oscilar entre 25°C e 30°C e encontrar-se associada à adequada disponibilidade de água no solo, além de abundância de luz;
- **Floração e enchimento dos grãos** – temperatura e luminosidade favoráveis, elevada disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar superior a 70%;
- **Maturidade fisiológica e colheita** – períodos predominantemente secos;

FRANCELLI pontua, ainda, que a temperatura constitui um dos fatores de produção mais importantes e decisivos ao desenvolvimento do milho, embora água e demais componentes climáticos exerçam influência direta no processo.

Por isso, regiões cujos verões têm temperaturas médias diárias inferiores a 19°C e noites com temperaturas médias abaixo de 12,8°C não são recomendadas para a espécie.



Para a colheita, é importante que o clima esteja predominantemente seco

Temperaturas do solo inferiores a 10°C e superiores a 42°C prejudicam sensivelmente a germinação das sementes, ao passo que aquelas situadas entre 25°C e 30°C propiciam as melhores condições para o desencadeamento do processo.

Em locais frios, com solo apresentando temperatura inferior a 18°C, FRANCELLI recomenda a implementação das seguintes medidas:

- a)** Reforçar o tratamento de sementes, valendo-se de fungicidas específicos de ação comprovada;
- b)** Não efetuar a semeadura profunda (profundidade máxima = 3cm);
- c)** Utilizar sementes íntegras (sem fissuras ou danificações mecânicas) e vigorosas;
- d)** Retirar a palha de cima do sulco de semeadura (faixa de 2 a 4cm de largura); esta última providência objetiva o favorecimento do aquecimento do local de deposição das sementes (sulco), propiciando a aceleração do processo de germinação e emergência.

Por conta da relevância das condições climáticas para a cultura do milho, desde o seu estabelecimento até a colheita, o produtor pode gerir melhor esses fatores com o apoio da **agricultura digital**.



Regiões em que os verões têm temperaturas médias diárias inferiores a 19°C não são recomendadas para o cultivo do milho

A maioria dos genótipos atuais não se desenvolve em temperaturas inferiores a 10°C, considerada basal para a espécie. Todavia, segundo algumas pesquisas, a temperatura basal para genótipos de ciclo tardio pode ser maior do que para de ciclo precoce.

Raízes de milho desenvolvidas sob frio são mais curtas e ocorre diminuição no número de ramificações e de raízes laterais. Isto reduz a absorção de água e de nutrientes.

A fotossíntese em milho sob frio é inibida. Também ocorre a alteração das propriedades físicas das membranas celulares e das organelas.



+++ LEIA MAIS:

Previsão do tempo para agricultura:
soluções tecnológicas

5.3 Radiação solar

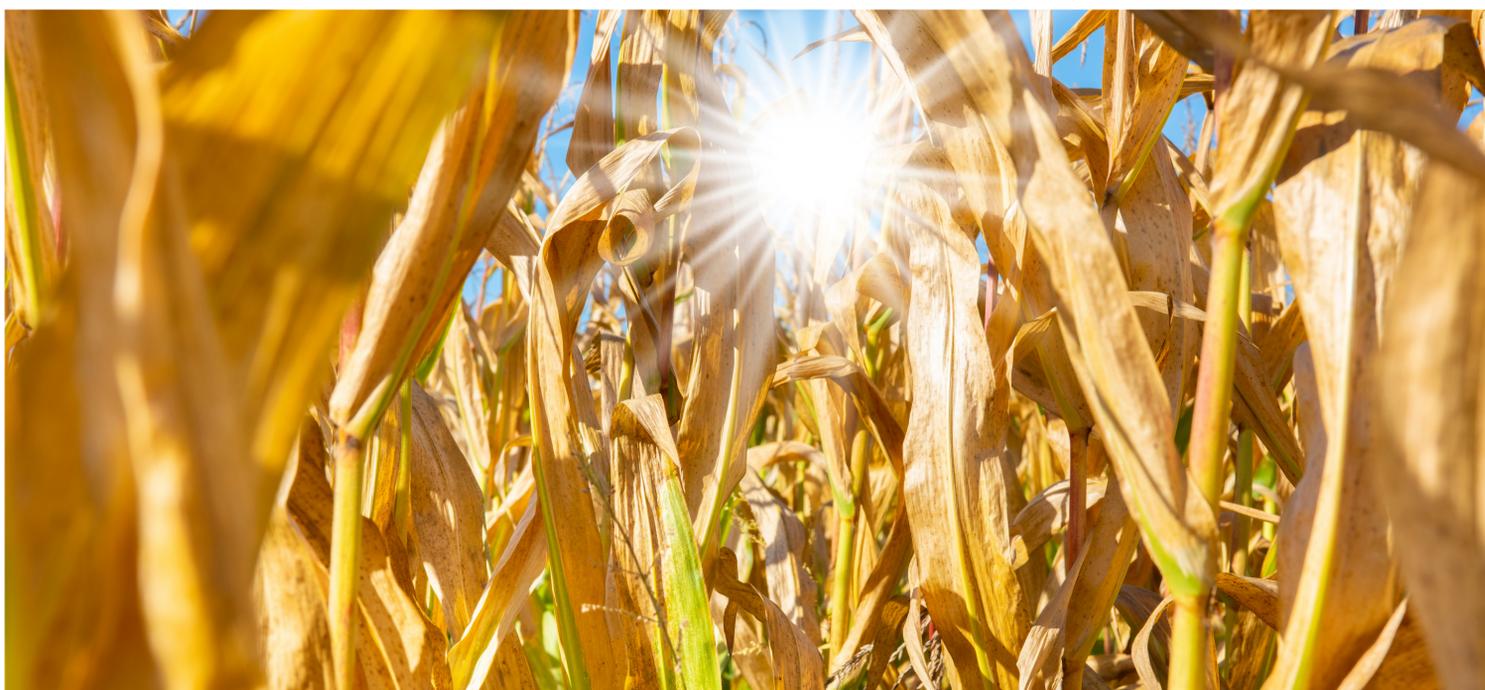
Com relação à luz, a cultura do milho responde com altos rendimentos a crescentes intensidades luminosas, em virtude de pertencer ao grupo de plantas “C4”, o que lhe confere alta produtividade biológica (FRANCELLI).

A ocorrência de dias longos pode promover o aumento de sua fase vegetativa e do número de folhas emitidas, ocasionando atraso no florescimento. O milho apresenta resposta ao fotoperíodo quando cultivado em latitudes superiores a 33°.

No Brasil, por essa razão, a espécie apresenta comportamento fotoneutro, visto que o alongamento ou o encurtamento da fase vegetativa é resultante da disponibilidade de calor (soma térmica), e não do número de horas de luz (ou de escuro) a que a planta estiver submetida.

Todavia, a redução de 30% a 40% da intensidade luminosa ocasiona, na cultura do milho, atraso na maturação dos grãos. Isso ocorre principalmente em materiais genéticos de ciclos tardios, que se mostram mais sensíveis à deficiência de luz.

A fotossíntese do milho sob frio é inibida. Também ocorre a alteração das propriedades físicas das membranas celulares e das organelas da planta.

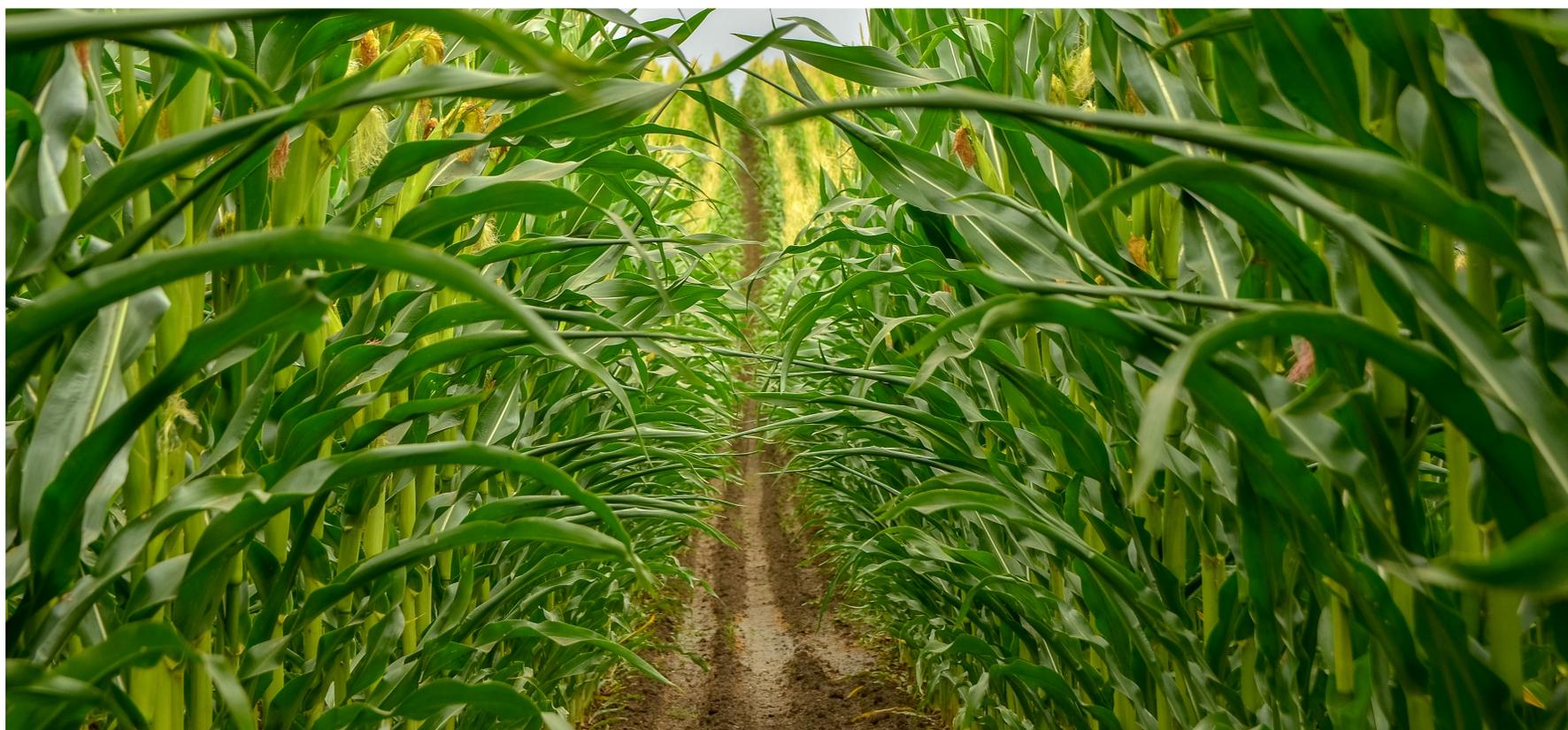


A redução da intensidade solar ocasiona atraso na maturação dos grãos

A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada no período próximo à fase reprodutiva: entre a emissão da 12ª à 14ª folha até os grãos leitosos, a redução da radiação luminosa ocasiona a diminuição do número e da densidade dos grãos.

O aproveitamento efetivo da luz pelo milho é decisivamente influenciado pela distribuição espacial das plantas na área, pelo arranjo das folhas na planta (arquitetura foliar), pela extensão (ou duração) da área foliar presente e pela declinação solar.

Por isso, é importante uma boa distribuição espacial de plantas na área, mediante combinações entre o espaçamento entrelinhas e o número de plantas na linha, não excedendo à população de 85.000 plantas/ha, segundo FRANCELLI.



O aproveitamento da luz pelo milho é influenciado pela distribuição espacial das plantas na área



+++ LEIA MAIS:

Quatro dicas para evitar perdas na colheita do milho safrinha

6

O impacto das condições climáticas sobre a fisiologia do milho safrinha

Cada vez mais cultivada no Brasil, a safrinha é muito sujeita aos estresses abióticos. Os principais são as baixas temperaturas (estresse por frio ou resfriamento/congelamento) e a deficiência hídrica (seca).

Como é plantada, geralmente, entre janeiro e abril, é comum ocorrer frio nos estádios mais avançados da safrinha (florescimento e enchimento de grãos) e deficiência hídrica (seca) em vários estádios de desenvolvimento (MAGALHÃES et al., 2007).

Ou seja, as consequências da baixa temperatura e do déficit hídrico ao milho, como apresentadas anteriormente, levam mais dor de cabeça ao produtor quando a cultura é plantada no período da safrinha. Para mitigar esses riscos, é necessário cuidado muito maior com o planejamento da safra.

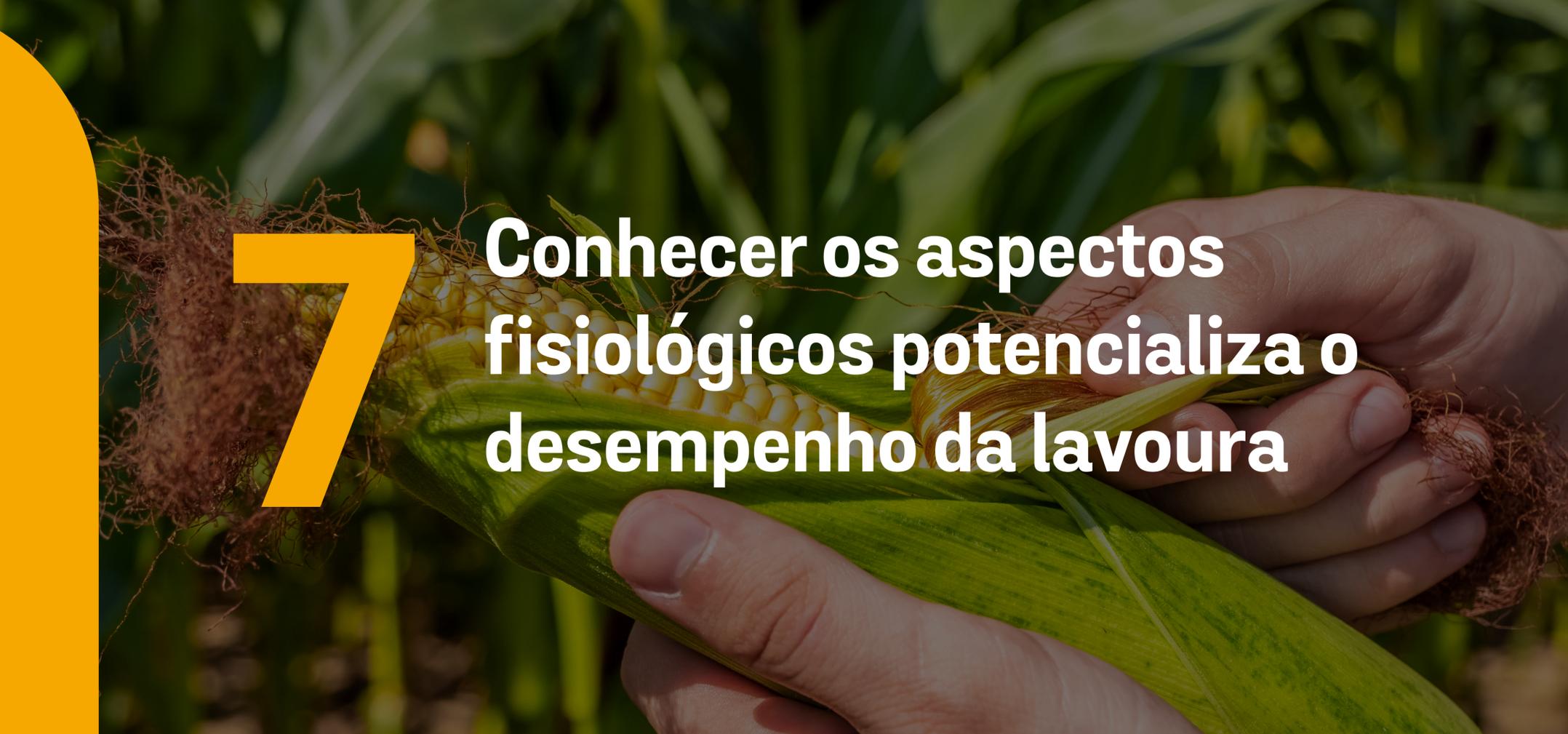
Genótipos tolerantes

De acordo com Thiago Corrêa de Souza, pesquisador da Universidade Federal de Alfenas, para se chegar a genótipos mais tolerantes/adaptados à seca e ao frio na safrinha, é necessário um maior conhecimento dos fatores biológicos relacionados à tolerância a estresses, além de se usar ferramentas fisiológicas e biotecnológicas.

De acordo com SOUZA (2013), além do melhoramento tradicional (com a seleção de genótipos pelas características de produção e fisiológicas) e do uso de ferramentas genéticas (como marcadores moleculares e transgenia), vários caminhos têm sido buscados para se atingir genótipos tolerantes na safrinha.



Comuns durante a safrinha, as geadas podem prejudicar o desenvolvimento da planta



7

Conhecer os aspectos fisiológicos potencializa o desempenho da lavoura

É possível arquitetar uma planta de alta produtividade, na concepção do pesquisador Luiz Gustavo Floss. Ele defende a viabilidade de se trabalhar a fisiologia e o manejo das lavouras, associados ao melhor ambiente produtivo, como ferramentas para se buscar maiores produtividades.

Para isso, segundo ele, é possível adotar uma agricultura mais tecnificada e científica, utilizando diferentes conhecimentos que se tem disponíveis.

De acordo com FRANCELLI, o produtor pode aperfeiçoar o seu manejo por meio da fenologia – o estudo de como a planta se desenvolve ao longo de suas diferentes etapas: germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação.

A partir do conhecimento fisiológico do milho, o produtor tem maior precisão nas ações de manejo da sua lavoura. Conforme vimos neste trabalho, em diferentes períodos fisiológicos é possível adotar práticas que maximizem o resultado do cultivo.

Com base nos aspectos fisiológicos, o agricultor pode, por exemplo:

- *Ajustar a população para o plantio;*
- *Plantar híbrido mais tolerante ao déficit hídrico de acordo com o momento do plantio;*
- *Realizar irrigação segundo a demanda dos materiais plantados e as condições climáticas;*
- *Plantar na melhor janela visando potencializar a produtividade;*
- *Otimizar a aplicação de nutrientes na área.*

Além disso, segundo MAGALHÃES (et al, 2002), o conhecimento da fisiologia da planta tem permitido avanços na caracterização de genótipos e na definição e manipulação de características marcantes, de interesse para programas de seleção.

Com base nesse conhecimento, a cultura do milho tornou-se um campo fértil para o desenvolvimento da biotecnologia vegetal e do plantio de plantas geneticamente modificadas, permitindo maior flexibilidade no manejo, maior produtividade por área e maior retorno econômico, possibilitando uma produção mais sustentável.



conhecimento da fisiologia tem permitido avanços na caracterização de genótipos e no manejo da cultura

REFERÊNCIAS

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê.** 3. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

FRANCELLI, Antonio Luiz. **Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre planta do milho.** Artigo do periódico Visão Agrícola – Milho. Esalq/USP: Piracicaba, 2015. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>

KISTLER, Logan et al. **Evidência multi-proxy destaca um complexo legado evolutivo do milho na América do Sul.** Science: dezembro, 2018. Disponível em <https://science.sciencemag.org/content/362/6420/1309>

MAGALHÃES, Paulo; DURÃES, Frederico; CARNEIRO, Portilho; PAIVA, Edilson. **Fisiologia do Milho.** Embrapa, Sete Lagoas: 2002. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf>

RITCHIE, S.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops.** Ames: Iowa State University of Science and Technology/ Cooperative Extension Service, 1989.

SOUZA, Thiago Corrêa. **Parâmetros Fisiológicos em Milho Safrinha.** XII Seminário Nacional de Milho Safrinha: Dourados, 2013. Artigo disponível em <https://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosufrinha2013/palestras/14-THIAGOCORREA-DE-SOUZA.pdf>

Conheça mais sobre conteúdos e programas que o FieldView™ disponibiliza para você:



BLOG FieldView™

Os melhores conteúdos sobre agricultura digital, em um só lugar.



Bayer **Valora**

Conheça e participe do programa que explora a rentabilidade de cada talhão com o seu investimento adicional protegido. Simples e sem truques, nós dividimos o risco com você.



CLIMATE **FIELDVIEW**™

Climate FieldView™ é a plataforma de agricultura digital da Bayer, que apoia o produtor por meio de serviços e soluções inovadoras, baseadas em ciência de dados, para auxiliar no gerenciamento de suas operações com mais eficiência durante toda a safra, do plantio à colheita. Saiba mais.

CLIMATE

FIELD
VIEW  TM