



## ***FISIOLOGIA DA CULTURA DO MILHO***

***Paulo César Magalhães***

***Frederico O. M. Durães***

*Pesquisadores, Ph.D., Fisiologia Vegetal - EMBRAPA/CNPMS*

***Reinaldo Lúcio Gomide***

*Pesquisador, Ph.D., Irrigação e Drenagem - EMBRAPA/CNPMS*

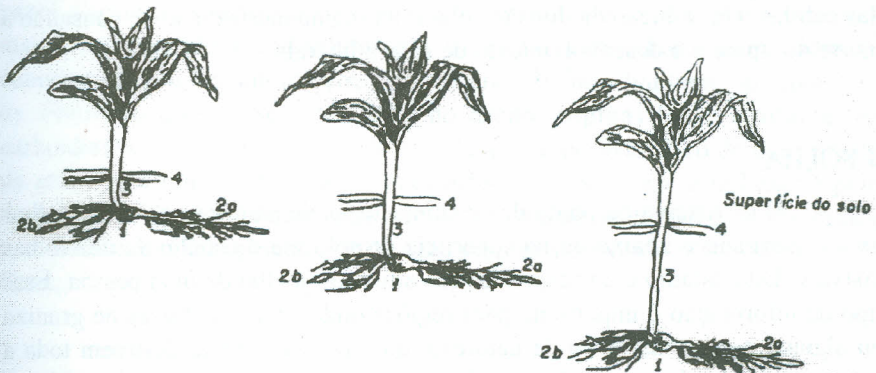
# 1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das mais extraordinárias plantas armazenadoras de energia existentes na natureza. De uma semente que pesa pouco mais de 0,3g irá surgir uma planta geralmente com mais de 2,0 metros de altura, e isso dentro de um espaço de tempo de cerca de 9 semanas. Nos meses seguintes, esta planta produz cerca de 600 a 1.000 sementes similares àquela da qual a planta se originou. Como é que a planta consegue fazer isto? Primeiro, produzindo uma grande e eficiente "fábrica" de energia, composta pelas suas raízes, folhas, colmo e partes florais. A partir daí, armazena quantidades fantásticas de energia em um produto concentrado, que é o grão de milho.

# 2 GERMINAÇÃO

Em condições normais, o grão de milho germina em 5 a 6 dias, numa temperatura de 25°C a 30°C. A 10°C praticamente não germina. A semente, fisiologicamente madura com umidade favorável, germina até mesmo na espiça.

Existe uma crença popular que diz: quanto mais profundo o plantio, melhores chances as raízes terão de explorar camadas mais profundas do solo, e, com isso, absorver mais água. Isso, porém, não é verdadeiro, uma vez que a profundidade do sistema radicular depende do comprimento do mesocótilo, e não da profundidade de plantio. A profundidade máxima na qual um plântula de milho pode emergir do solo é determinada pelo potencial máximo de alongamento do mesocótilo. (Figura 1).



**FIGURA 1.** Esquema de um plantio em três profundidades diferentes.

- 1) Sementes - 2) Raiz: 2a - primária, 2b - Seminal - 3) Mesocótilo
- 4) Sistema radicular definitivo

Portanto, a profundidade do sistema radicular definitivo vai ser praticamente a mesma, independentemente da profundidade de plantio.

### 3 SISTEMA RADICULAR

As raízes representam um importante componente funcional e estrutural da planta. No entanto, pouco se sabe a respeito de suas características de desenvolvimento assim como de suas atividades fisiológicas. As razões para este fato podem ser atribuídas às dificuldades inerentes à sua manipulação, e também devido ao fato de o sistema radicular não representar o produto final da colheita.

Os tipos de raízes presentes no milho são: primárias e seminais, adventícias ou de suporte. Com relação às raízes de suporte, que são raízes adventícias que surgem acima da superfície do solo, pensava-se que essas raízes serviam apenas para sustentar a planta; porém, recentes pesquisas revelaram que elas podem absorver efetivamente fósforo e talvez outros nutrientes.

O crescimento em extensão do sistema radicular é muito influenciado pelo suprimento de carboidratos produzidos e acumulados nas partes aéreas. A diminuição da disponibilidade de carboidratos para as raízes invariavelmente acarreta uma inibição do crescimento do sistema radicular.

O hábito de crescimento do sistema radicular do milho é superficial; a maior parte das raízes encontra-se nos primeiros 30 cm de solo. Daí o milho ter uma reduzida tolerância à seca. O comprimento do sistema radicular pode atingir até 3 m; no entanto, fatores como pH, umidade do solo e compactação influenciam a profundidade de raízes. O efeito do baixo pH no solo é a diminuição da disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg e alguns micronutrientes, bem como maior atividade de íons tóxicos ao crescimento radicular, como alumínio e manganês, enquanto que o efeito direto nas raízes é a alteração da permeabilidade das células. Há inibição da divisão celular na região meristemática, causando a morte do ápice e o desenvolvimento de raízes laterais.

### 4 FOLHA

O meristema ou ponto de crescimento, onde há a formação das folhas novas, permanece abaixo ou na superfície do solo até o estágio de dez folhas visíveis. Este estágio é correspondente à altura do joelho de uma pessoa. Esse tipo de informação é importante para regiões onde ocorrem chuvas de granizo ou alguma outra intempérie da natureza, que freqüentemente destroem toda a parte aérea das plantas. A decisão de replantar a cultura pode ser baseada na posição do ponto de crescimento. Caso este se encontre abaixo da superfície, não há necessidade de replantio, uma vez que a planta emitirá novas folhas e, com isso, poderá ter um desenvolvimento normal. A fotossíntese inicia sua



função de alimentar a planta quando esta atinge o estágio de duas folhas completamente desenvolvidas. Um ponto importante relacionado com as folhas é o ângulo de inserção das mesmas no caule. Atualmente, o conceito de uma cultivar moderna (ideótipo) é ter um grande número de folhas acima da espiga com lâminas eretas e pendentes na região mediana, aumentando, assim, a eficiência na interceptação da energia radiante. Ressalta-se que as folhas acima da espiga são responsáveis por cerca de 50-80% da matéria seca acumulada nos grãos. Salienta-se, contudo, que, apesar da melhor transmissão de luz nestes ideótipos, em muitos materiais, o fator limitante para produção de grãos está relacionado com a habilidade da planta de mobilizar e armazenar produtos fotossintetizados nos grãos, e não da capacidade de produzir metabólitos (relação fonte/dreno). Isto é, os sítios de atração e utilização de metabólitos (drenos) ao invés de sítios de produção (fontes) é que estariam limitando a taxa de produção de matéria seca. Portanto, é improvável que o aumento do ângulo foliar nesses materiais contribuam para a elevação da produção.

## 5 COLMO

O colmo, além de suportar as folhas e partes florais, serve também como órgão de reserva (sacarose). O armazenamento se dá após o crescimento vegetativo e antes do início de enchimento de grãos; isto porque, anteriormente a esta fase, todo carboidrato é usado na formação de novas folhas. É lógico pensar que há armazenamento porque a fotossíntese não diminui; portanto, os carboidratos têm de se alojar (armazenar) em algum órgão da planta, nesse caso, o colmo. Experimentos com remoção de folhas, na floração, mostram que o colmo diminui em peso e a espiga continua o seu enchimento normal. Isso demonstra claramente que há uma translocação do colmo para os grãos. Em pesquisas nas quais houve remoção de folhas e toda a planta foi envolvida com papel alumínio, a espiga continuou o seu enchimento, confirmando uma vez mais a translocação de fotoassimilados. O nível de carboidratos acumulados no colmo pode fornecer informações úteis acerca do fator limitante no rendimento. Fonte ou dreno? Se o tamanho do dreno (espiga) fosse limitante, os carboidratos se acumulariam no colmo, durante o período ativo de enchimento de grãos, e a fonte supridora de fotoassimilados excederia a utilização pelo dreno; da mesma forma que, onde a fonte é limitante, os teores de carboidratos no colmo diminuem quando a utilização pelo dreno excede o suprimento pela fonte.

### 5.1 Experimento: quebraimento do colmo

O colmo contém uma considerável reserva de fotoassimilados, que podem ser translocados para a espiga quando a fonte de assimilados não é sufici-



ente, condição verificada especialmente durante o período de senescência da planta, o que pode acarretar o enfraquecimento do colmo, tornando-o susceptível ao quebraamento. Esta pesquisa objetivou o estudo das causas deste fenômeno, de grande importância na cultura do milho, devido à sua alta correlação positiva com perdas na colheita. Durante vários anos agrícolas foram estudados diversos genótipos oriundos do CNPMS e de empresas privadas, discriminados em materiais susceptíveis e resistentes ao quebraamento. As avaliações iniciaram-se após a polinização e constaram de amostragens periódicas da altura da planta, peso seco (de folhas, colmo, pendão, espiga, internódio abaixo da espiga), porcentagem de açúcares solúveis no internódio e cortes citológicos no colmo. No final do ciclo, foram avaliados a porcentagem de quebraamento e os componentes da produção. Em alguns anos agrícolas os resultados apresentaram um baixo índice de quebraamento em todos os materiais. O particionamento de fotoassimilados foi normal e os cortes citológicos inconclusivos. No entanto, em outros anos, o particionamento de fotoassimilados foi distinto nos materiais estudados. Durante o período de enchimento de grãos, observou-se que o peso seco do colmo e a porcentagem de açúcares solúveis foram maiores nos materiais resistentes ao quebraamento, comparados com os genótipos susceptíveis. O quebraamento do colmo pareceu ser uma característica influenciada pelo ambiente, podendo ou não ocorrer, dependendo do ano agrícola. Quando ocorreu, pôde ser associado à relação fonte/dreno da planta.

## 6 PERFILHOS

Todas as gemas laterais são morfologicamente idênticas, no início de desenvolvimento da plântula, e possuem potencial para formar perfilhos. No entanto, são geralmente mantidas em "dormência" através do fenômeno da dominância apical. A quebra desta dominância pode provocar o perfilhamento. Outras variáveis, envolvidas na capacidade de perfilhar, são: cultivares e densidade de plantio. Com relação às cultivares, algumas formam perfilhos que funcionam como um colmo normal, semelhante ao original, e que pode, inclusive, produzir espigas, enquanto que em outros materiais os perfilhos raramente produzem uma espiga normal; porém, freqüentemente, possuem o chamado "tassel seeds", que são sementes produzidas no pendão. Dentro de um mesmo genótipo, o número de perfilhos que completam o seu desenvolvimento e se aproximam em tamanho do caule original é relacionado inversamente com a densidade de plantio, pois, quanto mais denso, menor a possibilidade de desenvolver perfilhos. Mencionou-se, também, que a formação de perfilhos pode surgir pela quebra de dominância apical. Esta pode acontecer através de um dano físico, destruição do meristema apical por insetos, por exemplo, ou através de distúrbios do balanço hormonal, que podem ser causados por elevadas temperaturas e seca acentuada. Os perfilhos são, em geral, indesejáveis, embora exista pouca evi-

dência de que eles realmente diminuam o rendimento. Os resultados obtidos por diversos cientistas, relacionando perfilhos e produção de grãos, são inconclusivos. Atualmente, o interesse pelo perfilhamento reduziu, uma vez que se tem usado alta densidade de plantio que inibe o desenvolvimento de perfilhos. Do ponto de vista prático, os grãos produzidos no pendão ("tassel seeds") são geralmente perdidos devido, principalmente, à falta de proteção pela palha, que coloca os grãos expostos a pássaros e insetos.

Existe alguma especulação sobre o fato segundo o qual plantas com vários perfilhos partilhando um único sistema radicular podem ter vantagens em condições adversas de umidade no solo.

## 7 FLORESCIMENTO

Normalmente, ocorre cerca de 50 a 100 dias depois do plantio. O tempo necessário para florescimento é afetado principalmente pela temperatura, e não pela atividade fotossintética. Há uma independência entre fotossíntese e ritmo de desenvolvimento, isto devido ao fato de ser a fotossíntese governada pela temperatura da folha somente durante as horas do dia, enquanto a taxa de desenvolvimento é função da temperatura durante todo o dia. A temperatura, portanto, é muito importante no desenvolvimento do milho, e o ideal é ter temperaturas em torno de 30-33°C, durante os dias, e noites frias. A temperatura noturna é importante, porque é principalmente à noite que ocorre crescimento. Noites quentes e dias quentes também não são favoráveis, pois aceleram demais o ciclo e o milho perde em rendimento, isto é, perde na respiração, usando como substrato os carboidratos acumulados durante o dia com a fotossíntese. Noites e dias frios aumentam demais o ciclo, sem vantagens para o rendimento final. (Tabela 1).

**TABELA 1** - Ensaio de épocas de plantio em dois ambientes diferentes. Produções em Kg/ha<sup>1</sup>.

Cultivares	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Tardio	*6300	6930	5700	4200	5800	4100	5250
	3500	3010	3200	1220	3060	5300	6700
Precocce	*7000	6080	6910	5100	5090	6200	6500
	3000	3600	2900	2100	3010	5600	6050
Superprecocce	*4000	3800	3900	1100	2700	3300	4001
	2200	2800	2910	2000	3000	4000	4980

\* - Sete Lagoas

- Janaúba

<sup>1</sup> Fonte: SANS, L. M. A - CNPMS/EMBRAPA



## 8 POLINIZAÇÃO / FERTILIZAÇÃO

Os cabelos (estilo-estigma ou barba) emergem por cerca de três a cinco dias e são receptivos imediatamente após a emergência, assim permanecendo por até 14 dias, em condições favoráveis. Assim, há tempo para todos os cabelos serem polinizados antes de o pendão parar de liberar pólen. É importante frisar que há uma alta demanda de água e nutrientes nesta fase da floração/fertilização, devido à intensa atividade fisiológica a que a planta é submetida. Tempo seco nesta fase é muito prejudicial, porque o cabelo seca rapidamente e pode não conter umidade suficiente para suportar a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico até o ovário. O estabelecimento do contato direto entre o grão de pólen e os pêlos viscosos do estigma estimula a germinação do primeiro, dando origem a uma estrutura denominada de tubo polínico, que é responsável pela fecundação do óvulo inserido na espiga. A fertilização ocorre 12 a 36 horas após a polinização, período este variável em função de alguns fatores envolvidos no processo, tais como: teor de água, temperatura, ponto de contato e comprimento do estilo-estigma. Se o cabelo não for polinizado, ele pode continuar a alongar por 10 a 14 dias e pode-se estender 30 a 40 cm além da palha. Quando ocorre a fertilização, o cabelo pára de crescer, encolhe um pouco e se torna amarronzado. Durante a fertilização, o número de fileiras de grãos é determinado primeiro. Assim, o número de grãos/fileira é fixado pelos grãos que desenvolveram cabelo. Cada estilo-estigma é responsável por fertilizar um grão na espiga. Déficit hídrico e deficiência em nutrientes nesse estágio, especialmente 10 a 14 dias antes da emissão do cabelo e a liberação do pólen, podem diminuir sensivelmente o número de grãos. Logo após a fertilização, a espiga continua a crescer até que os grãos em desenvolvimento atinjam o estágio de "bolhas d'água". Neste estágio, a espiga atinge o seu comprimento e diâmetro máximo.

## 9 ENCHIMENTO DO GRÃO

Em média, o desenvolvimento do grão se completa cerca de 50-55 dias após a fertilização. Esse período pode variar entre cultivares e dentro de uma mesma cultivar, e, logicamente, os fatores ambientais também induzem a pequenas variações. Uma curva típica de acumulação de matéria seca dos diferentes órgãos da planta é mostrada na figura 2.



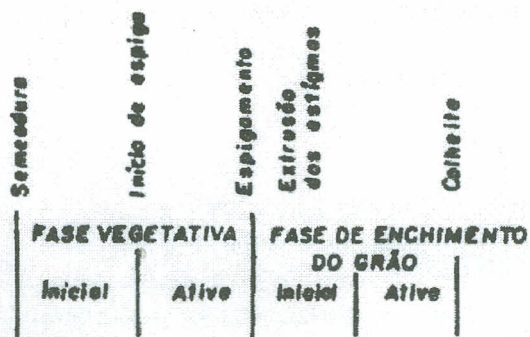
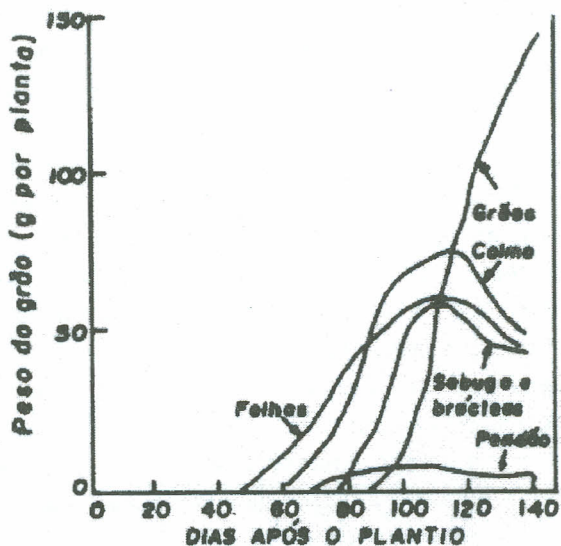


FIGURA 2 - Acumulação de matéria seca da planta.

Há um interesse acentuado em aumentar a fase linear da curva, que corresponde ao período efetivo de enchimento do grão. A relação fonte/dreno da planta pode determinar a duração desse período, ou seja, a quantidade de fotoassimilados disponíveis (fonte) e a capacidade da espiga (dreno) em acomodar esses fotoassimilados. Portanto, os parâmetros limitantes responsáveis pelo crescimento dos grãos podem ser agrupados em: A) ritmo de enchimento, B) tempo de enchimento e C) capacidade do grão.

## 9.1 Experimento: aumento de fotoassimilados

Há vários estudos mostrando que o rendimento na produção de milho é limitado pela disponibilidade de fotoassimilados durante o período de en-

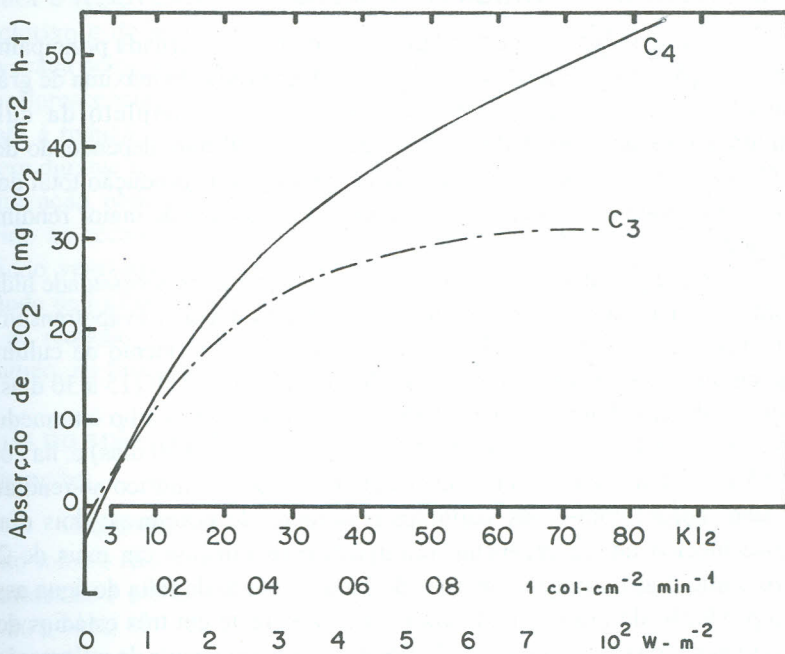
chimento dos grãos. Objetivando estudar os efeitos do aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento da planta e no peso final dos grãos de milho, foi montado um experimento de campo onde foram utilizados dois genótipos de milho: híbrido M14 x W64A e a cultivar Pioneer 3780. Os tratamentos consistiram da remoção parcial dos grãos (retirando-se a metade superior da espiga) e do desbaste para 50% da população inicial de plantas, realizados 06 e 24 dias após a floração. Foram determinados os seguintes parâmetros: teor de açúcar solúvel, amido, nitrogênio e matéria seca, provenientes do colmo e dos grãos de milho. Os resultados mostraram que o M14 x W64A respondeu ao desbaste precoce, apresentando um maior período de enchimento de grãos, maior teor de amido e maior peso final dos grãos. Desbaste e remoção parcial da espiga em ambas as datas aumentaram o peso seco e o teor de açúcares solúveis no colmo. A remoção precoce de parte dos grãos aumentou o teor de nitrogênio do colmo e dos grãos remanescentes. O genótipo Pioneer 3780 não foi afetado na maioria dos parâmetros analisados. Embora os tratamentos mostrassem ser efetivos, em alguns casos, nem sempre foi conseguido aumento significativo no peso seco dos grãos. Isso sugere que o suprimento de fotoassimilados não parece ser a principal limitação para o rendimento na produção de grãos. Essa limitação parece ser controlada por fatores intrínsecos da semente.

## 10 FOTOSSÍNTESE

Grande parte da matéria seca do milho (90%) provém da fixação de  $\text{CO}_2$  pelo processo da fotossíntese. O milho é uma planta  $\text{C}_4$ ; portanto, apresenta alta eficiência na utilização de luz e  $\text{CO}_2$  (Figura 3). Uma das causas da queda de produtividade no milho é a deficiência de luz em períodos críticos do desenvolvimento, como, por exemplo, enchimento de grãos.

Deve-se ressaltar, no entanto, que apesar da eficiência das plantas  $\text{C}_4$ , existem duas características na planta de milho que diminuem o potencial de eficiência das folhas. O mais limitante é o hábito de crescimento, que proporciona um auto-sombreamento das folhas inferiores. O outro é a presença do pendão, que fica inativo logo após a fertilização, mas que chega a sombrear as folhas superiores em até 19%, dependendo da cultivar.

Para se estabelecer uma eficiente cultura no campo, aproveitando, ao máximo, a energia radiante, é requerida atenção tanto na taxa de plantio como na própria distribuição de plantas sobre a superfície, a qual é afetada pelo genótipo envolvido. Materiais com menor área foliar por planta requerem mais plantas por hectare, para maior eficiência na interceptação da luz.



**FIGURA 3** - Eficiência na absorção de luz por espécies  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

O conteúdo de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é limitante, 0,03% (300 ppm); daí, cresce a necessidade de as plantas de milho se tornarem eficientes na fixação desse gás. O ponto de compensação do  $\text{CO}_2$  é diferente para plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . No milho ( $\text{C}_4$ ) é de 5-10 ppm, enquanto no feijão ( $\text{C}_3$ ), é de 30-70 ppm. Ressalta-se que o ponto de compensação é a intensidade de luz, na qual a fotossíntese equilibra com a respiração (ganho líquido de  $\text{CO}_2$  é igual a zero). Somente acima do ponto de compensação é que ocorre o ganho de peso seco. Outra razão que limita a eficiência das plantas  $\text{C}_3$  e fazem possível o ciclo  $\text{C}_4$  é a fotorrespiração. Fotorrespiração é o oposto de fotossíntese: usa o  $\text{O}_2$  produzido e destina menos carbono aos produtos finais. Parece ser um processo de desperdício. Em plantas  $\text{C}_4$ , a taxa de  $\text{CO}_2 / \text{O}_2$  nas células foliares sempre permanece relativamente alta. O fechamento dos estômatos nas folhas de plantas  $\text{C}_4$  não somente evita a perda de água mas também limita a entrada de  $\text{O}_2$  atmosférico. Fotorrespiração é um problema importante, sobretudo em clima temperado, por causa da baixa eficiência de plantas  $\text{C}_3$  em gerar biomassa. A fotossíntese líquida das plantas  $\text{C}_4$  como o milho assume valores de 50-70  $\text{mg CO}_2 / \text{dm}^2$  de folhas / h, enquanto as plantas  $\text{C}_3$  fixam  $\text{CO}_2$  a taxas muito mais baixas (15-35  $\text{mg CO}_2 / \text{dm}^2 / \text{h}$ ).



## 11 NECESSIDADE HÍDRICA DA CULTURA

A necessidade hídrica da cultura do milho é governada principalmente pelas condições climáticas do local. Para se obter produção máxima de grãos, a quantidade de água consumida durante o ciclo completo da cultura (evapotranspiração acumulada) varia entre 500 e 800 mm, dependendo do clima. O milho utiliza eficientemente a água em termos de produção total de matéria seca e, entre os cereais, é potencialmente a cultura de maior rendimento em grãos.

Os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) que relacionam as necessidades hídricas máximas (Evapotranspiração Máxima da Cultura,  $E_{tm}$ ) com a evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ), para os diferentes estádios de crescimento da cultura do milho em grão, são os seguintes: no estádio inicial, 0,30-0,50 (15 a 30 dias); no estádio de desenvolvimento, 0,70-0,85 (30 a 45 dias); no estádio intermediário, 1,05-1,20 (30 a 45 dias); no estádio final, 0,80-0,90 (10 a 30 dias) e, na colheita, 0,55-0,60. Para se ter uma idéia dos efeitos do déficit hídrico no rendimento do milho, apresentam-se os seguintes resultados de pesquisas: dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de 50%. O efeito da falta de água associado à produção de grãos é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento 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, e, nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, ocorrendo aqui o aumento na deposição de matéria seca, que está intimamente relacionado com a fotossíntese, desde que o estresse resulta na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos. Portanto, a importância da água está relacionada também com a fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implicará a menor disponibilidade de  $CO_2$  para fotossíntese e a limitação dos processos de alongação celular.

A falta de água é sempre acompanhada por interferência nos processos de síntese de proteína e RNA, caracterizada por um aumento aparente na quantidade de aminoácidos livres, como a prolina. Apesar do alto requerimento de água pela planta de milho, ela é eficiente no seu uso para conversão de matéria seca.

### Suprimento hídrico versus rendimento da cultura

O rendimento em grãos da cultura do milho é afetado pela frequência e lâmina de irrigação. O efeito de água, dependendo do ciclo fenológico da cultura, pode ocasionar estresse hídrico e comprometer o rendimento de grãos. A

cultura é relativamente tolerante aos déficits hídricos durante os períodos vegetativo e de maturação. A maior diminuição nos rendimentos de grãos provocada pelos déficits hídricos ocorre durante o período de floração, incluindo inflorescência, emissão do estilo-estigma e polinização, devido principalmente à redução do número de grãos por espiga. Caso o déficit hídrico seja severo durante a floração, particularmente na época de formação da espiga e da polinização, pode resultar num rendimento baixo ou, até mesmo, nulo de grãos, devido ao secamento dos estigmas. Quando a planta sofre déficit hídrico no período vegetativo precedente, esse efeito é menos pronunciado. Durante o período de formação de grãos, os déficits hídricos podem manifestar-se na forma de redução do tamanho do grão, ocasionando diminuição de rendimento. Contudo, na fase de maturação, esse efeito é pouco significativo.

### **Água no solo versus sistema radicular da cultura e práticas de irrigação**

O esgotamento da água disponível no solo até 55% tem um pequeno efeito sobre o rendimento da cultura quando as condições de Etm correspondem a valores de 5 a 6 mm/dia. Na maturação, pode-se permitir um esgotamento de até 80 a 90%.

Para os casos de solos profundos, bem manejados, as raízes do milho podem chegar à profundidade de até 2 m. Porém, o sistema radicular mais ramificado fica situado na camada de 0,4 a 0,6 m, dependendo do tipo de solo, e cerca de 80% da absorção da água do solo ocorre dentro desta camada. O regime pluviométrico e as práticas de irrigação adotadas influenciam bastante a profundidade e a taxa de crescimento do sistema radicular da cultura. Além destes parâmetros, os níveis dos nutrientes no solo, a estratificação estrutural e textural do solo, os sais e o lençol freático influem fortemente no desenvolvimento das raízes da cultura.

### **Necessidade hídrica versus manejo de irrigação**

Para se obter uma boa uniformidade e um desenvolvimento rápido do sistema radicular da cultura do milho, a zona radicular deve, sempre que possível, estar úmida (com o teor de umidade do solo próximo à capacidade de campo) no momento da semeadura ou logo depois desta.

É importante que se estabeleça o calendário de irrigação, principalmente onde a precipitação for baixa e o suprimento de água for limitado, visando evitar os déficits hídricos durante os períodos de floração e de formação dos grãos, que são mais críticos e sensíveis ao estresse hídrico, podendo acarretar redução drástica no rendimento de grãos. O calendário de irrigação vai depender principalmente da fase da cultura, das condições climáticas locais, do solo e da disponibilidade de água. Para a determinação da necessidade hídrica da



cultura, recomenda-se, na ausência de resultados de trabalhos de pesquisa, o uso de um dos três métodos da FAO (radiação solar, Penman modificado ou evaporação da água do tanque classe A). A utilização da evaporação da água do tanque classe A (ECA) é um método que vem sendo usado em muitas regiões com sucesso, consistindo em estimar a Etm a partir de:

$$E_{tm} = ECA \cdot K_p \cdot K_c$$

onde  $K_p$  é o coeficiente do tanque classe A, que depende das condições de bordadura do tanque, da velocidade média do vento e da umidade relativa média do ar. Conhecendo-se a quantidade de água requerida pela cultura do milho (Etm), fica fácil estipular o calendário de irrigação, valendo-se do fator de disponibilidade de água no solo.

Rendimentos da ordem de 6 a 9 t/ha (com 13% de umidade dos grãos) são considerados bons em condições de milho irrigado com a finalidade de produção de grãos. A eficiência de uso de água para o rendimento obtido em grãos pode variar entre 0,8 a 1,6  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

## 12 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ECOFISIOLOGIA DA PRODUÇÃO DE MILHO

O milho possui elevado potencial e acentuada habilidade fisiológica na conversão de carbono mineral em compostos orgânicos, os quais são translocados das folhas e de outros tecidos fotossinteticamente ativos (fonte) para locais onde serão estocados ou metabolizados (dreno). As relações fonte-dreno podem ser alteradas por fatores ambientais, o que implica dizer que práticas de manejo conjugadas adequadamente podem conduzir ao aumento da produção e da produtividade de milho.

O rendimento de grãos em cultivos de milho é uma função de inúmeros fatores e processos atuando concorrentemente, quais sejam: interceptação de luz pela cobertura vegetal da cultura, eficiência metabólica das plantas, eficiência de translocação de fotossintatos das folhas para os grãos em crescimento e capacidade do dreno. As relações de fonte e dreno são função de condições ambientais.

A importância relativa desses fatores e processos não é amplamente conhecida para os diferentes cultivares, sobretudo em condições de manejo distintas daquelas nas quais cada cultivar foi selecionada pelo melhoramento genético. Torna-se importante identificá-los, a fim de que os rendimentos de cada cultivar possam ser incrementados, em relação aos seus níveis atuais.

Entender a natureza do acúmulo de matéria seca durante a estação de



crescimento, bem como a partição da matéria seca para o grão e outros componentes da planta pode direcionar para o incremento do rendimento de grãos, através do melhoramento (genético e do manejo) de plantas.

Rendimento de grãos de uma cultura pode ser expresso como o produto do rendimento biológico e índice de colheita. Rendimento biológico, comumente medido pelo peso total da matéria seca da planta, é uma medida integrada dos efeitos combinados da fotossíntese e respiração durante a estação de crescimento. Fotossíntese, por sua vez, é dependente da extensão da área foliar e da duração da superfície das folhas verdes.

Rendimentos de milho têm sido aumentados pela melhoria da eficiência da interceptação de luz, pela melhoria da distribuição da luz através de reduzido espaço de fileiras e pela melhoria da redistribuição de luz para partes mais baixas da copa pela alteração da arquitetura da copa. Tem-se procurado, ainda, alterar componentes do rendimento, tal como aumento da prolificidade - capacidade de dreno.

Os fatores envolvendo o rendimento de grãos podem ser simultaneamente sumariados na seguinte equação:

$$RG/A = AF/A \times NG/AF \times PG$$

onde,

$AF/A$  = IAF (mede a eficiência da interceptação de luz)

$NG/AF$  = tamanho do dreno

$PG$  = quantidade de fotossintatos armazenados nos grãos

$RG$  = rendimento de grãos;  $A$  = área do terreno;  $AF$  = área foliar;  $NG$  = número de grãos;  $PG$  = peso de grãos;  $IAF$  = índice de área foliar.

O produto do  $NG/AF$  e  $PG$  é a eficiência de rendimento, que é uma função da eficiência fotossintética na produção de grãos, se toda a matéria seca produzida após antese é translocada para o grão em crescimento (enchimento de grãos), ou é uma função da eficiência de translocação, em outros casos. A partição de fotossintatos, sobretudo, é função do genótipo e das relações fonte-dreno.

Em decorrência de a temperatura afetar a eficiência de conversão, seria preferível utilizar a taxa de crescimento por unidade de tempo térmico como medida de desempenho de cultivares de milho, conforme é observado na tabela 2.

**TABELA 2** - Radiação total incidente diária, soma térmica, radiação total incidente por unidade de tempo térmico para a floração e o rendimento do milho em zonas distintas.

Locais	Radiação Total cal.cm <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup>	Σ Térmica* °C. dia <sup>-1</sup>	Radiação total/Unidade de tempo térmico cal.cm <sup>2</sup> .°C <sup>-1</sup>	Rendimento Kg.ha <sup>-1</sup>
Terras Baixas (México)	440	15,0	29,3	5.500
Terras Altas (México)	550	11,5	47,8	9.000
Davis (Califórnia-USA)	729	11,2	65,1	13.450
Pergamino (Argentina)	650	11,3	57,5	11.500
Balcarce (Argentina)	600	9,0	66,7	13.800

\*  $\{(Temperatura\ Máxima + Temperatura\ Mínima)/2\} - 10^{\circ}C$

O aumento da temperatura, principalmente noturna, além de incrementar o processo respiratório, contribui para aceleração da acumulação de graus-dia, contribuindo para o encurtamento do ciclo da cultura, reduzindo o aparato fotossintético e, conseqüentemente, a quantidade de radiação interceptada, bem como o potencial de produção.

A redução no rendimento do milho, nas mais variadas condições, está associada à duração do período de enchimento de grãos. Em regime de elevadas temperaturas diurnas (>35°C) e noturnas (>24°C), a taxa de acumulação de matéria seca nos grãos e a duração do período de enchimento são reduzidos. Tal período também poderá ser encurtado, em função da redução do suprimento de sacarose das folhas, provocado pela desfolha ou pela elevação do nível de estresse imposto à planta.

Em suma, a maximização da produção dependerá da população empregada, que será função da capacidade de suporte do meio e do sistema de produção adotado; do índice e da duração da área foliar fotossinteticamente ativa; da prolificidade do cultivar; da época de semeadura, visando satisfazer a cinética de crescimento e desenvolvimento, bem como da adequada distribuição espacial de plantas na área, em conformidade com as suas características genotípicas.

No Brasil, rendimentos elevados têm sido obtidos com a utilização de 60 mil a 70 mil plantas/ha, adotando-se espaçamentos variáveis entre 80 e 65cm, apresentando 3,5 a 5 plantas por metro, devidamente arranjadas de forma a



minimizar as relações de competição por fatores de produção disponíveis.

Tem sido questionado, nestes últimos anos, se o potencial máximo de produção das culturas está próximo de ser atingido. Para aqueles que acreditam nisso, pergunta-se: será que estamos questionando nossos materiais corretamente? Estamos procurando os pontos de estrangulamento de nossos genótipos? Estamos procurando saber um pouco mais da fisiologia da planta? Apenas como exemplo de como a fisiologia pode ajudar a exploração e o alcance do potencial genético das plantas, podemos citar este fato: dentre as variáveis que limitam a produtividade das culturas, destacam-se: fertilidade do solo, genótipos, controle de pragas e doenças, manejo da irrigação e uma gama de outras variáveis, todas essas controláveis, ou seja, pode-se consegui-las e aplicá-las no momento apropriado. Existe, porém, uma variável que pode determinar o limite superior do potencial produtivo: é a quantidade de energia que os tecidos vegetais conseguem captar do sol. A energia solar difere dos outros fatores de produção, uma vez que o agricultor não tem como controlá-la. Quanto às outras variáveis, pode-se adquiri-las e aplicá-las em diferentes níveis, já no que se refere à energia solar, pode-se fazer muito pouco para alterar a quantidade recebida em um hectare. Portanto, o agricultor deve procurar captar essa energia de maneira mais eficiente, o que fatalmente resultará numa planta com maior capacidade de fotossintetizar, produzindo, assim, mais fotoassimilados. Com isso, este agricultor poderá explorar melhor o potencial genético máximo daquele material. O conhecimento da FISILOGIA é o caminho mais provável para se chegar ao potencial máximo de produção.

### 13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2 ed. Champaign, IL: A & L Publications. 1982. 371p.
- AFUAKWA, J.J.; CROOKSTON, R.K.; JONES, R.J. Effect of temperature and sucrose availability on kernel black layer development in maize. **Crop Science**, v.24, n.2, p. 285-288, 1984.
- DELVIN, R.M. Water relations. In: **Plant physiology**. 3. ed. New York, USA: D. Van Nostrand Company, 1975. p. 43-86.
- DONALD, C.M.; HAMBLIM, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. **Advances in Agronomy**, Madison, v.28, p.361-405, 1976.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Irrigation and drainage. In: - **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 144p. (Paper 24).



- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Irrigation and drainage. In: **Yield response to water**. Rome: FAO, 1984. 144p. (Paper 33).
- DUNCAN, W.G. Maize In: EVANS, L.T., ed. **Crop physiology**. England: Cambridge University Press, 1975. p.23-50.
- DUVICK, D.N. Continuous backcrossing to transfer prolificacy to a single-eared inbred line of maize. **Crop Science**, v.14, p.69-71, 1974.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Milho: Fisiologia da produção. In: SEMINÁRIO SOBRE FIOLOGIA DA PRODUÇÃO E MANEJO DE ÁGUA E DE NUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE, 1996, Piracicaba, SP: USP/ESALQ/POTAFOS. p.1-29, 1996. (Mimeografado).
- FERRI, M.G.; REICHART, K. Água. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo, SP: E.P.V./EDUSP, 1984. p.347-385.
- KLAR, S.R. Transpiração. In: KLAR, Antonio Evaldo. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo, SP: Nobel, 1984. p.347-385.
- LAMBERT, R.J.; JOHNSON, R.R. Leaf angle, tassel morphology and the performance of maize hybrids. **Crop Science**, v.18, p.499-502, 1978.
- LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Maximum crop productivity: an estimate. **Crop Science**, v.3, n.1, p. 67-72, 1963.
- MAGALHÃES, A.C.; SILVA, W.J.da. Determinantes genéticos fisiológicos da produtividade do milho. In: PATERNIANI, Ernesto, ed. **Melhoramento e produção de milho**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1978. v. 2, p.413-450.
- MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados sobre os teores de carboidratos e nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.25, n.12, p.1755-1761, 1990.
- MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final os grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.12, p.1747-1754, 1990.
- MAGALHÃES, P.C. **Transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera**. In: CURSO DE USO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO, 7., 1991, Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 1991. 13p.

- MAGALHÃES, P.C.; GAMA, E.E.G; MAGNAVACA, R. **Efeito de diferentes tipos de despendoamento no comportamento e produção de alguns genótipos de milho.** Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 1993. 4p.(EMBRAPA-CNPMS. Pesquisa em Andamento, 12).
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho.** Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 20).
- PEPER, G.E.; PEARCE, R.B.; MOCK, J.J. Leaf orientation and yield of maize. **Crop Science**, v.17, p. 883-886, 1977.
- SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. The Photosynthesis: transpiration compromise. In: CAREY, J.C., ed. **Plant physiology**. 2. ed., Belmont, California: Wadsworth Publishing Company, 1982. p.32-46.
- TING, I.T. Gas exchange and estomatal physiology. In: FUNSTON J., ed. **Plant physiology**. Riverside: Addison Weley Publishing Company/University of California, 1982. p.101-124.
- TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. **A review**.v. 22, p.49-75.

