

Cultivo do Milheto

[Paulo César Magalhães](#)
[Frederico O.M. Durães](#)

Sumário

- [Apresentação](#)
- [Importância econômica](#)
- [Clima](#)
- [Ecofisiologia](#)
- [Fertilidade de solos](#)
- [Cultivares](#)
- [Plantio](#)
- [Plantas daninhas](#)
- [Doenças](#)
- [Pragas](#)
- [Colheita e pós-colheita](#)
- [Referências](#)
- [Glossário](#)
- [Expediente](#)

Ecofisiologia

Introdução

O milheto é cultivado quase que exclusivamente em áreas tropicais áridas e semiáridas caracterizadas por estação de crescimento com altas temperaturas, baixa precipitação pluvial e solos rasos ou arenosos. A cultura apresenta adaptação a essas condições por uma combinação de importantes períodos de curta duração em desenvolvimento e considerável plasticidade de desenvolvimento, maximizando o uso da umidade disponível no solo. Ainda se conhece pouco sobre sua possível adaptação fisiológica para estresse, embora as informações disponíveis sugiram uma significativa tolerância ao calor.

O milheto tem se mostrado adequado por atender a estas características, pois possui sistema radicular que pode alcançar 3,6m de profundidade e uma grande eficiência na transformação de água em matéria seca. O milheto necessita de 282 a 302g de água para produzir 1g de matéria seca, apresentando ainda uma grande tolerância a altos níveis de alumínio.

Características morfológicas da planta

O milheto é uma gramínea anual robusta, com altura entre 1,5-3m, podendo chegar a mais de 5m. Os descritores botânicos da planta de milheto consistem em colmos, folhas, raízes, panículas, inflorescências e grãos. Os colmos são densamente lisos abaixo da panícula e normalmente entre 1-2cm de diâmetro; algumas vezes apresentam ramificações secundárias e terciárias a partir de gemas laterais dos nós. A planta perfilha frequentemente, produzindo uma abundante folhagem. Os perfilhamentos podem ser do tipo primário, basal, secundário e nodal.

As folhas são longas, lisas ou de superfícies pilosas e com lígulas pilosas. As lâminas foliares são lanceoladas e algumas vezes de comprimento entre 90-100cm ou mais e 5-8cm de largura. A nervura pode ser proeminente ou não, para cima ou tombada. Os estômatos são encontrados em ambos os lados da superfície foliar em números iguais, variando de 50 a 80 por milímetro quadrado. Folhas e colmos podem variar em cor de verde amarelado a púrpura.

As raízes surgem dos nós inferiores para suportar a planta e a espiga terminal. O milheto produz apenas uma raiz seminal com existência de 45 a 60 dias. A primeira das raízes secundárias consiste em um par radicular que se desenvolve no primeiro nó em um plano com a primeira gema axilar. No próximo nó, um segundo par desenvolve similarmente, após o que um verticilo de 4-6 raízes é produzido para cada nó. O sistema de raiz secundária é extremamente profuso e pode penetrar a profundidades superiores a 5m sob certas condições.

As panículas são similares em tamanho e forma, sendo rígida e compacta, cilíndrica, cônica ou de forma espiralada; com 2-3cm em diâmetro, 15-45cm de comprimento, embora algumas variedades incomuns possam crescer até 150cm. A ráquis é reta, cilíndrica, sólida, frequentemente com 8-9mm de espessura e sem ramificações. Algumas vezes, as sementes e/ou as glumas têm coloração cinza, marrom, púrpura, marrom amarelado ou cinza claro.

Na inflorescência, as espiguetas e as aristas originam-se de um invólucro com 30-40 aristas, tão longas quanto as espiguetas. Cada cabelo é mais longo e mais evidente na base do que no ápice. Espiguetas consistem de uma pequena gluma inferior, que

é mais larga do que comprida. Mil sementes ou cariopses de milho pesam de 3 a 15g.

Fisiologia do crescimento, desenvolvimento e reprodução da planta de milho

Estádios de crescimento e desenvolvimento do milho - O milho, como outros cereais, tem três períodos bem definidos de crescimento e, através de estudos de vários autores, pode-se definir, dessas fases de crescimento, nove estágios de desenvolvimento. Informações pormenorizadas das fases de desenvolvimento e estágios e características para identificá-las são apresentadas na Tabela 1 e na Figura 1.

Tabela 1. Três principais fases de crescimento e nove estágios de desenvolvimento morfológicamente distintos da planta de milho em relação ao colmo principal.

Estágios: FC- Fases de Crescimento (3): ED- Estádios de Desenvolvimento (9)	Identificação da Característica	Dias Após Emergência*
FC 1 – Fase de Crescimento 1:	Fase Vegetativa:	0-21
- ED0	Emergência	2-3
- ED1	Três folhas	3-7
- ED2	Cinco folhas	7-14
- ED3	Iniciação da Panícula	14-21
FC 2 – Fase de Crescimento 2:	Fase de Desenvolvimento da Panícula:	21-42
- ED4	Folha Bandeira	21-28
- ED5	Estádio de Emborrachamento	28-35
- ED6	Estádio 50% Florescimento	35-42
FC 3 – Fase de Crescimento 3:	Fase de Enchimento de Grão:	42-77
- ED7	Estádio Leitoso	42-49
- ED8	Estádio Pastoso/Farináceo	49-56
- ED9	Maturidade Fisiológica ou Formação da Camada preta	56-63

*Pode variar devido às condições ambientais, locais e variedades.
Fonte: Khairwal et al. (1990) e Maiti & Bidinger (1981).

Fonte : Adaptado de MAITI; BIDINGER, 1981.

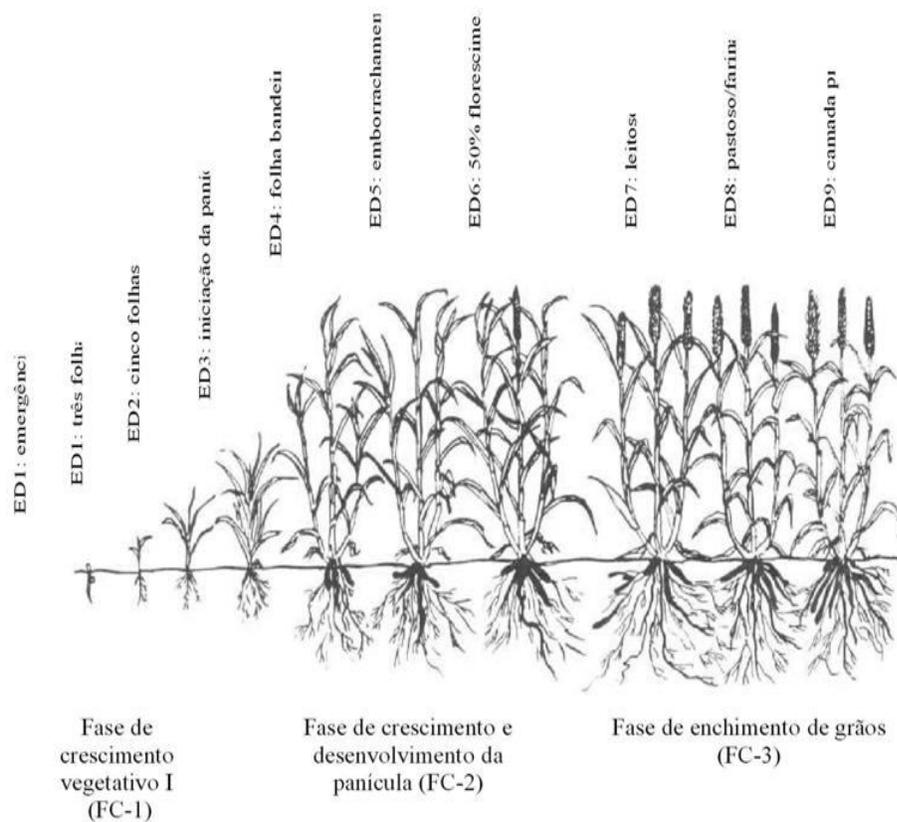


Fig. 1. Diagrama esquemático das três principais fases de crescimento (FC 1 a 3) e Estádios de Desenvolvimento (ED 0 a 9) morfológicamente distintos de milho.

Fase de Crescimento 1 (FC1): Fase Vegetativa – inicia com a emergência do coleoptilo da superfície do solo (ED0) e inclui ED1, ED2 e ED3. O desenvolvimento sequencial das partes da planta em FC1 é dado a seguir: plântulas estabelecem seu sistema de raiz primária (raízes seminais) e produzem raízes adventícias; iniciação de todas as folhas e, em variedades precoces, 6 ou 7 folhas (incluem folhas embrionárias) são completamente expandidas; formação de perfilhos de gemas, seus primórdios foliares e emergência de vários perfilhos; ocorre pouca elongação de internódio e o meristema apical permanece abaixo da superfície do solo; verifica-se acumulação de matéria seca, que é quase inteiramente confinada para as raízes; inicia a formação da panícula.

Estádio de Desenvolvimento 0 (ED0): Emergência – é caracterizada pela visibilidade do coleoptilo da superfície do solo. ED0 ou emergência do coleoptilo da superfície do solo depende da profundidade de plantio, textura do solo, umidade e temperatura. A duração é de 2 a 3 dias sob condições favoráveis. Um número de mudanças ocorre na semente antes da emergência do coleoptilo na superfície do solo: absorção de água pela semente, que ativa o metabolismo nas células e inicia a germinação; emergência da radícula da região próxima do hilo, aproximadamente com 16 horas da iniciação da germinação seguidas pelo desenvolvimento da plúmula juntamente com a bainha do coleoptilo aproximadamente 2 horas mais tarde; radícula cresce rapidamente e produz finas raízes capilares. Coleoptilo cresce vagarosamente através do solo até emergir da superfície do solo.

Estádio de Desenvolvimento 1 (ED1): Estádio de três folhas – as seguintes mudanças são observadas em ED1. Visibilidade da lâmina da terceira folha no cartucho da segunda folha sem separação da primeira e da segunda folhas, aproximadamente 5 dias após emergência do coleoptilo; a terceira folha é completamente expandida e a segunda é ainda levemente enrolada na base; rápido crescimento das raízes seminais e desenvolvimento das suas finas ramificações; uma ou duas raízes adventícias visíveis; folhas são pequenas em comprimento e de cor verde sob luz.

Estádio de Desenvolvimento 2 (ED2): Estádio de cinco folhas – plântulas em ED2 têm as seguintes características: lâmina da quinta folha é visível com aproximadamente 13-15 dias após emergência; completa expansão da primeira e da segunda folhas; a terceira folha se apresenta levemente enrolada; o ponto de crescimento envolvido pelo primórdios foliares está abaixo do nível do solo; raízes seminais com grande número de ramificações são vistas bem desenvolvidas; raízes adventícias começam a aparecer; há emergência de folhas de perfilhos de dentro das bainhas de folhas basais; as plantas tornam-se mais fortes e com colaração verde escura.

Estádio de Desenvolvimento 3 (ED3): Iniciação de Panícula – é caracterizado por uma mudança no ponto de crescimento do estágio vegetativo para o reprodutivo. Outras mudanças incluem: desenvolvimento do primórdio foliar para o primórdio da espiguetas; aparência hemisférica no ápice da planta; completa expansão de folhas ou em vários estágios de desenvolvimento; primeiros 2 ou 3 internódios começam a alongar, assim como o ponto de crescimento está acima da superfície do solo; desenvolvimento de uma rede de raízes laterais e adventícias na raiz seminal; um número de perfilhos começa a emergir no padrão de desenvolvimento similar ao colmo principal, embora o mais tardio seja mais avançado do que os perfilhos. A diferenciação de panícula e o número de espiguetas depende do tamanho da panícula em *Pennisetum glaucum*.

Fase de Crescimento 2 (FC2): Fase de Desenvolvimento da Panícula – a panícula passa por uma série de distintas mudanças morfológicas e de desenvolvimento durante o processo de alongação do colmo. Estas incluem desenvolvimento das espiguetas, floretes, glumas, estigmas, anteras, emergência do estigma e polinização. Todo esse desenvolvimento marca o final da FC2. Outras mudanças também ocorrem durante a fase, como: a maioria das folhas é completamente expandida e as folhas mais precoces expandidas na base do colmo começam a senescer; a altura da planta aumenta com a alongação dos internódios na base do colmo; os perfilhos começam a emergir, passam pela iniciação floral, expansão foliar etc. em padrão similar ao colmo principal; o primeiro perfilho formado desenvolve-se semelhantemente ao colmo principal, enquanto o desenvolvimento de perfilhos tardios frequentemente cessa devido à competição e/ou à supressão pelo colmo principal e pelos perfilhos precoces; o acúmulo de matéria seca continua na raiz, nas folhas e no colmo. Em milho, severo déficit hídrico durante o período de desenvolvimento da panícula atrasa o florescimento. O atraso no florescimento devido ao estresse hídrico foi mais pronunciado em perfilhos do que no colmo principal.

Estádio de Desenvolvimento 4 (ED4): Estádio de Folha Bandeira – esse estágio é visível e não há mais folhas com lâminas enroladas. Algumas mudanças ocorrem entre a iniciação da panícula e o aparecimento da folha bandeira. Elas são: na iniciação da panícula, as folhas não expandidas emergem sequencialmente e expandem para o tamanho completo; alongação sequencial dos internódios, sendo que cada sucessivo internódio começando da base é mais longo do que seu antecessor; desenvolvimento de ramificações, espiguetas e primórdios florais; rápido desenvolvimento em floretes; a panícula persiste envoldida pela bainha da folha bandeira e outras folhas.

Estádio de Desenvolvimento 5 (ED5): Estádio de Emborrachamento – neste estágio, a panícula persiste na bainha foliar da folha bandeira. Entretanto, aumenta rapidamente em comprimento e largura e o desenvolvimento é quase completo. A panícula também inicia a emergência do colar da folha bandeira com a alongação do pedúnculo neste estágio (Fig.2). A falta de nitrogênio na sementeira atrasa levemente o tempo da iniciação floral e não tem efeito na duração da produção de espiguetas. A aplicação de nitrogênio causa maior taxa de produção de espiguetas. O atraso na iniciação da panícula resulta em mais folhas, perfilhos/planta, maior área foliar, peso e matéria seca total. O estresse de água antes da iniciação da panícula normalmente não afeta o rendimento de grão do colmo principal, mas pode aumentar o rendimento de grão de perfilhos, resultando em mais alto rendimento total de grão. Estresse hídrico durante o desenvolvimento da panícula reduz o

rendimento de grão no colmo principal. Estresse hídrico durante o florescimento e enchimento de grão reduz rendimento de grão em ambos, colmo principal e perfilhos.

Foto : Frederico O. M. Durães.



Fig. 2. A inflorescência do milho é um espigão complexo, cilíndrico, com uma eixo central cônica e não ramificada. a) Panícula no estágio de lançamento ou protuberância na bainha foliar da folha bandeira. A panícula também começa emergindo do colar da folha bandeira com a elongação do pedúnculo nesse estágio (Estádio de Desenvolvimento 5 – ED5): estágio lançamento; perfilhos basais; b) Aparecimento de panícula e liberação de estigmas; perfilhos axilares; c) Panículas em colmo principal e perfilhos axilares.

Estádio de Desenvolvimento 6 (ED6): Estádio de 50% de florescimento – em milho, a protogenia ocorre (estigmas emergem primeiro) cerca de 72-120 horas após emergência da espiga e dura cerca de 48-72 horas para a completa emergência do estigma e 50% de florescimento (Fig. 3).

Foto : Frederico O. M. Durães.



Fig. 3. Emergência de estigmas (Estádio de desenvolvimento ED6). O estigma permanece receptivo por vários dias, e seca em poucas horas após a polinização.

Em milheto, a antese feminina ocorre antes da antese masculina (protogenia), ou seja, cerca de 72 a 120 horas após a emergência da espiga de poucos centímetros abaixo do topo da panícula. Ocorre acima e abaixo simultaneamente. A completa emergência dos estigmas requer 48 a 72 horas (2 a 3 dias). A metade do florescimento ocorre durante o tempo em que a emergência do estigma atinge o meio da panícula (Fig. 4 e 5). A primeira abertura ocorre em flores perfeitas e a segunda em flores masculinas. A emergência da antera da panícula continua por 5 a 6 dias. Os perfilhos em plantas devem florescer ao mesmo tempo ou mais tarde. A protogenia em milheto assegura a polinização cruzada (alogamia), que é principalmente favorecida pelo vento. Insetos também participam da polinização cruzada.

Foto : Frederico O. M. Durães.

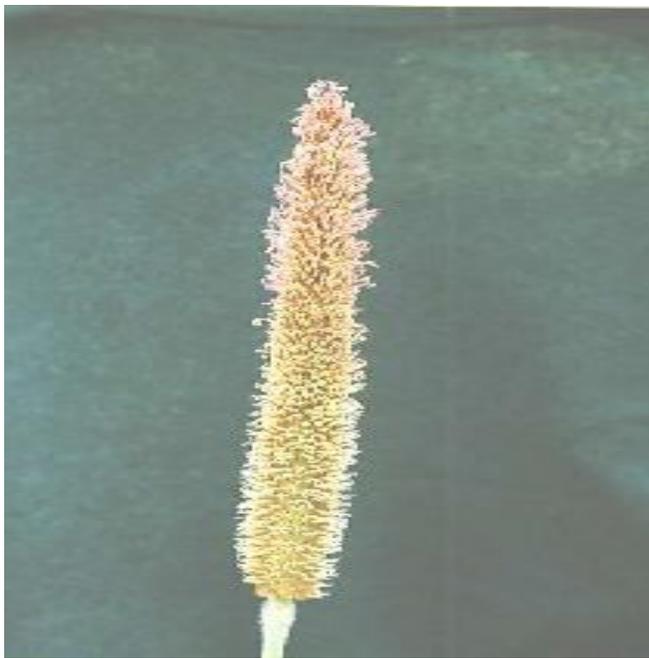


Fig. 4. Cinquenta por cento de florescimento (Estádio de desenvolvimento ED6). Os estigmas emergem antes das anteras (protogenia).

Foto : Frederico O. M. Durães.



Fig. 5. - Estigmas e estames (Estádio de Desenvolvimento ED6): 50% de florescimento. Os estigmas permanecem receptivos por vários dias. Ele seca dentro de poucas horas após a polinização.

Fase de Crescimento 3 (FC3): Fase de Enchimento de Grão – FC3 começa com a fertilização em floretes e inclui todo processo de desenvolvimento para a formação da camada preta na semente ou maturidade fisiológica. Outras mudanças que ocorrem durante essa fase são: aumento no peso total de matéria seca da planta, mais especificamente em grãos; algum aumento em componentes não-grão, particularmente em perfilhos do colmo; alongação de perfilhos e florescimento em algumas variedades; senescência em folhas inferiores; apenas 2 ou 4 folhas superiores permanecem verdes na fase final do enchimento de grão; desenvolvimento de perfilhos em nós superiores de algumas variedades; a visibilidade da camada preta perto da região do hilo de grão é notada 20-25 dias após o florescimento.

Estádio de Desenvolvimento 7 (ED7): Estádio Leitoso – os grãos tornam-se visíveis no florete em 6 a 7 dias após fertilização. A camada da semente é cheia

primeiramente com fluido aquoso e, mais tarde, com fluido leitoso. Há uma rápida deposição de amido nas células do endosperma. Há também aumento no peso da matéria seca do grão.

Estádio de Desenvolvimento 8 (ED8): Estádio Pastoso – o fluido leitoso gradualmente muda de forma semissólida para sólida. Há também um aumento no conteúdo de amido e decréscimo em umidade. Com o enchimento de grão aproximando-se da fase final, há uma gradual mudança do estágio de consistência macio para pastoso/farináceo (Fig. 6).

Foto : Frederico O. M. Durães.



Fig. 6. Grãos tornam-se visíveis no florete dentro de 6 a 7 dias após a fertilização. Estádio pastoso/farináceo. A formação da pequena camada preta na região do hilo é um indicador de maturidade fisiológica na semente de milho, visualizado no estágio de desenvolvimento 9 (ED9).

Estádio de Desenvolvimento 9 (ED9): Formação da camada preta – a formação da pequena camada preta na região do hilo é um indicativo da maturidade fisiológica na semente de milho. Ela começa no grão da parte superior da panícula. O cariopse alcança máximo peso seco, ao tempo em que a importação de carboidratos cessa e a região preta forma-se na região do hilo.

Crescimento e Desenvolvimento de Órgãos Individuais: Desenvolvimento radicular - O sistema radicular do milho tem três componentes: 1) a raiz seminal, ou raiz primária, derivada diretamente da radícula; 2) as raízes adventícias, que se desenvolvem a partir dos nós da base do colmo; 3) a coroa (ou colar) de raízes, que se origina de vários nós inferiores do colmo ou acima da superfície do solo.

Desenvolvimento de perfilho – Os perfilhos iniciais ou brotos desenvolvem-se nas axilas das folhas inferiores e são inicialmente envolvidos pela bainha foliar. O primeiro perfilho foliar aparece cerca de 12 dias após a emergência no eixo do coleoptilo. Subsequentemente, perfilhos desenvolvem em lados alternados do colmo principal, seguindo o arranjo alternado de folhas no broto. O desenvolvimento e o crescimento dos perfilhos seguem um padrão idêntico com o do broto principal. O desenvolvimento do perfilho pode ser síncrono com o desenvolvimento do broto principal ou pode ser consideravelmente atrasado ou mesmo suprimido pelo broto principal. O número de perfilhos que pode alcançar o florescimento é uma função da variedade e das condições ambientais, particularmente o espaço entre plantas. Algumas variedades produzem perfilhos (chamados perfilhos nodais) dos nós superiores do colmo principal após a granação na panícula principal. Essas têm um ciclo de desenvolvimento curto, produzindo apenas poucas folhas e usualmente uma panícula pequena. Perfilhos nodais são comuns quando a granação na panícula

principal é pobre ou a panícula principal é danificada de alguma forma.

Desenvolvimento de área foliar - As cinco folhas embriônicas emergem, com a germinação da semente, a uma taxa de aproximadamente uma folha por dia. As taxas de emergência das folhas subsequentes (que são iniciadas após a germinação) declinam vagarosamente, alcançando taxa média de 0,40-0,45 folha por dia, ao tempo final da emergência foliar. A taxa de emergência e o número final de folhas variam entre variedades, com variedades precoces geralmente tendo menor número de folhas e mais rápida taxa de emergência foliar.

A taxa de desenvolvimento da área foliar total por planta é um produto da taxa de expansão foliar e o tamanho e a longevidade de folhas individuais para o colmo principal e perfilhos. A taxa de desenvolvimento da área foliar é vagarosa no início da estação por causa do tamanho pequeno das folhas embriônicas, mas aumenta rapidamente cerca de 15-20 dias após emergência, assim que o tamanho de folhas individuais aumenta e assim que os perfilhos começam a expandir suas folhas. A área foliar máxima é obtida em cerca de 50% do florescimento, no tempo em que a maioria dos perfilhos tem expandidas todas as suas folhas. A contribuição dos perfilhos para a área foliar total varia entre variedades, dependendo do número de perfilhos que completa o desenvolvimento. Após o florescimento, há um declínio na área foliar assim que as folhas mais velhas começam a senescer. Na maturidade fisiológica, geralmente há apenas de três a quatro folhas verdes remanescentes por broto.

Elongação do colmo - A elongação dos internódios do colmo começa lenta após a iniciação da panícula, primeiro com curtos internódios basais, seguidos pelos mais longos internódios superiores e finalmente o pedúnculo. Isto produz o padrão comum sigmóide da elongação do colmo, com a taxa máxima ocorrendo em torno do estágio de folha bandeira. Pode ocorrer um maior aumento no comprimento do colmo, seguindo-se ao florescimento em algumas variedades devido à continuada elongação do pedúnculo

Desenvolvimento da panícula - O desenvolvimento da panícula consiste em uma sequência de processos, um para cada das várias estruturas da panícula, que acontecem da base para o topo do ápice em sucessão regular. A mudança do ápice vegetativo para o reprodutivo é marcada pela formação de uma constricção na base do ápice. Os primórdios de ramificações começam na base da panícula em 1-2 dias após a iniciação floral. Cada primórdio de ramo rapidamente subdivide-se para formar duas espiguetas e vários primórdios de aristas. Esse segundo estágio de diferenciação segue um padrão acrópeto (da base para o ápice) similar para a diferenciação dos primórdios de ramos. Os primórdios do florete são formados por uma divisão do primórdio de espiguetas, que começa cerca de 6 dias depois da iniciação da panícula. Isso é seguido pelo desenvolvimento de glumas e a elongação do talo de espiguetas. Iniciação de partes florais (lema, pálea, estamens e estigmas) começa na base da panícula cerca de 8 dias após a iniciação floral e é completada no ápice da panícula, cerca de 10 dias após a iniciação. Na maioria das variedades, há dois floretes por espiguetas – uma perfeita (contendo anteras e estigmas) e um masculino (contendo apenas anteras). A distinção entre estes é evidente assim que os primórdios de florete tornam-se visíveis.

Crescimento do grão - O aumento no peso seco em grãos em uma panícula individual segue um padrão normal sigmóide. Há um período inicial de 5-6 dias durante o qual acontece uma divisão ativa das células no endosperma, mas durante o qual há pouco aumento no peso seco do grão. Em seguida, há um período mais longo de rápida acumulação de peso seco até o desenvolvimento da camada preta, após o qual não há aumento no peso de grão. A mais rápida taxa de aumento de peso seco no grão ocorre durante os estágios leitoso para farináceo. Há algumas variações em tamanho de grão e o tempo para maturidade fisiológica entre grãos em diferentes localizações na panícula. Tipicamente, ambos são maiores na base da panícula do que no centro ou no ápice e frequentemente maiores no centro do que no ápice. Há também considerável variação em tamanho de grão entre variedades, de tão pequeno quanto 3-4g por 1000 grãos para mais alto como 10-12g. Grãos maduros variam em forma, sendo geralmente arredondados no ápice e estreitos na região do hilo. A camada

preta é localizada acima da região do hilo no lado basal abgerminal e o embrião é oposto.

Acumulação de matéria seca na planta - As taxas de acumulação de matéria seca durante a ED1 são baixas por causa da pequena área foliar da planta. A maioria da matéria seca produzida durante essa fase vem das folhas e das raízes. O crescimento foliar continua durante a fase ED2, com o primeiro broto principal e então os perfilhos expandem suas folhas. No florescimento, entretanto, o crescimento foliar na maioria dos perfilhos, bem como no colmo principal, é completado e o peso seco foliar permanece constante (ou decresce levemente pela senescência das folhas inferiores) para o restante da vida da planta. A alongação do colmo começa lenta, após a iniciação floral, e um aumento da fração da matéria seca total da planta vem do colmo durante a fase ED2. Ao tempo do florescimento no colmo principal, aproximadamente 2/3 do peso seco da planta é no colmo. Peso seco no colmo da planta toda pode continuar a aumentar após o florescimento no colmo principal, com alguns dos perfilhos ainda passando por rápida alongação do colmo. Pode também ter algum ganho ou perda de peso seco do colmo durante o enchimento de grão, se a necessidade de carboidratos para enchimento de grão for menor ou maior que a disponibilidade da oferta de fotoassimilados nas folhas. Sob tais condições, o colmo serve como um armazém para o excesso de carboidratos ou uma fonte de oferta de carboidratos para enchimento de grão.

Há relativamente pouca distribuição de matéria seca para a panícula durante a ED2, desde que a panícula não passe por rápido crescimento até o final dessa fase. Durante a fase ED3, entretanto, um maior aumento na matéria seca da planta é na panícula, uma vez que os perfilhos atingem o florescimento e os grãos cheios em todas as panículas.

A distribuição final de matéria seca na folha, no colmo e na panícula variam amplamente em milho, dependendo da variedade. Em variedades anãs, de alto rendimento, 50% da matéria seca deve estar nas panículas, com o restante dividido entre os colmos e as folhas em razão de aproximadamente 3:1. Em algumas variedades, entretanto, 50% ou mais do peso seco pode estar nos colmos, com não mais do que 20-30% na panícula. A produção total de matéria seca nesses tipos, entretanto, pode ser consideravelmente maior do que nas variedades anãs e o peso seco atual nas panículas deve ser similar para as variedades anãs.

Desenvolvimento da área foliar e interceptação da radiação

Após emergência das plântulas, temperatura e luz influenciam o rendimento desde que a produção de matéria seca seja quase proporcional à radiação interceptada durante o crescimento vegetativo de cereais. A temperatura exerce um maior efeito na taxa de crescimento da cultura e nos processos de expansão e extensão. A luz determina a taxa de crescimento (i.e., produção de matéria seca) em alguns estádios de desenvolvimento. Mas há importantes interações, como o desenvolvimento que pode ser reduzido pela baixa luz e o crescimento que pode ser retardado quando a temperatura é muito alta ou muito baixa.

Na planta, o número máximo de folhas produzidas é determinado durante o Estádio de Desenvolvimento ED1 e a sua duração é amplamente controlada pelo comprimento do dia. Durante este período, a temperatura da superfície do solo determina a taxa de iniciação foliar, assim que mais folhas são produzidas a altas temperaturas.

Durante o rápido aumento no índice de área foliar (IAF) característico de ED2, a taxa de expansão foliar em cereais aumenta quase que linearmente com a temperatura. Redução no comprimento do ED2 a mais altas temperaturas compensa o aparente benefício do calor em encurtar o tempo para obter a máxima interceptação de luz. Isto é claro através das medidas sumarizadas na Tabela 2, mostrando que alta temperatura pode severamente reduzir o rendimento pelo encurtamento do período acima do qual a luz é interceptada. As implicações para essa interação entre

temperatura, radiação interceptada e a duração do ED2 no rendimento de grãos são discutidas no texto.

Tabela 2. Duração do estágio de desenvolvimento ED2 e a radiação interceptada acumulada em cinco temperaturas médias.

Média de temperatura do ar (°C)	Duração do ED2 (dias)	Radiação total interceptada durante o ED2 (MJ m ⁻²)
31	25,1	93
28	30,5	133
25	33,1	178
22	41,4	205
19	51,6	238

Fonte: Ong e Monteih (1985).

Os efeitos da alta temperatura (>32°C) no desenvolvimento da área foliar carecem de maior elucidação, visando respostas diferenciadas de genótipos a outros fatores ambientais e a sua expressão na produtividade. Evidências para milho sugerem que a taxa de extensão foliar declina rapidamente entre 35 e 40°C. Medidas sugerem um ótimo de temperatura de 31°C a 34°C para milheto. Alta temperatura está normalmente associada com rápida transpiração, assim que a taxa máxima de extensão é raramente mantida, exceto por breves períodos na manhã. No milheto, em comparação com o sorgo, a temperatura base (a Tb, em °C – temperatura em que cessa o desenvolvimento vegetal) é mais próxima de 15,5°C do que de 10°C. A Tb de 15,5°C confere com os valores extrapolados obtidos em vários processos de desenvolvimento.

Perfilhos

A temperatura tem uma grande influência no número final de perfilhos produzidos, na produtividade de perfilhos basais e na sobrevivência de perfilhos (Tabela 3). Comparando a fertilidade de perfilhos e sobrevivência em cinco temperaturas, a temperatura ótima é de 25°C, porém, para rendimento de grãos dos perfilhos basais, 22°C apresenta-se melhor.

Tabela 3. Número final de perfilhos por planta, fertilidade de perfilho, sobrevivência de perfilho e rendimento de grãos.

	Tratamento (°C)				
	19	22	25	28	31
Número de perfilhos por planta	6,6 ± 2,4	5,1 ± 2,3	4,6 ± 1,6	4,4 ± 1,0	3,7 ± 1,4
Fertilidade de perfilhos (%)	40	45	50	43	42
Sobrevivência de perfilhos (%)	83	70	80	77	75
Rendimento de grãos (g por perfilho)					
Cultivar 1	9,6 ± 6,5	15,5 ± 4,0	15,9 ± 7,0	11,7 ± 0,5	10,3 ± 3,0
Cultivar 2	9,1 ± 2,7	13,6 ± 4,1	11,9 ± 6,0	8,4 ± 2,0	9,4 ± 2,3
Cultivar 3	7,0 ± 3,6	4,0 ± 2,8	2,8 ± 1,8	2,0 ± 1,5	1,5 ± 0,8

Fonte: Ong (1984).

Fotossíntese, produção de matéria seca e luz

Na copa da cultura, a irradiância média de uma folha é normalmente menor do que a irradiância medida na superfície horizontal acima da copa. Quando o sol está brilhante (pico de radiação), a irradiância média é aproximadamente KI, onde o coeficiente de extinção K, dependente da arquitetura da copa e da geometria do sol, tem um valor de cerca de 0,5 para milheto durante as horas centrais do dia. A eficiência da produção de matéria seca pela copa poderia ser de 2 a 2,5g MJ⁻¹. Foram calculados os pesos da matéria seca produzida para estande de milheto por unidade de radiação interceptada pela folhagem antes da antese (Tabela 4). Valores de três culturas bem irrigadas variaram de 2,15 a 2,37g MJ⁻¹. Para um estande não

irrigado crescendo principalmente com água armazenada após uma chuva de monção (vento oriental), o valor foi de 2g MJ-1 e para a cultura crescendo inteiramente da água armazenada em um solo arenoso foi de 1,5g MJ-1.

Tabela 4. Produção de matéria seca, insolação, temperatura e taxa de conversão em três sítios de cultivo.

Variáveis	Local 1 ⁽¹⁾			Local 2 ⁽³⁾	Local 3 ⁽⁴⁾
	Irrigado	Não Irrigado	Sob chuva ⁽²⁾ , ano seguinte	Pós-chuva	Irrigado
Matéria seca total na maturidade (g m ⁻²)	622	312	810	300	2174
Maturidade (dias após semeadura)	68	68	75	70	112
Temperatura média do ar (°C)	21,5	21,5	25,8	27,4	28,1
Insolação média diária (MJ m ⁻²):					
Estação total	15,2	15,2	17,9	17,0	21,3
Pré-antese	14,1	14,1	18,0	19,0	21,0
Radiação total interceptada (MJ m ⁻²):					
Estação total	448	290	530	256	1576
Pré-antese	207	192	170	153	887
Taxa de conversão (g MJ ⁻¹):					
Estação total	1,49	1,14	1,38	1,17	1,26
Pré-antese	2,35	2,0	2,15	1,50	2,37

Referência: ¹ Squire et al. (1984); ²Marshall & Willey (1983); ³Azam-Ali et al. (1984); ⁴ Begg (1965).

O efeito da temperatura e da luz no rendimento de grãos

Fatores ambientais afetam a taxa de crescimento ou desenvolvimento da planta e sobretudo a temperatura tem uma clara influência no número de grãos ao final da colheita. Em baixas temperaturas, o número de grãos é provavelmente reduzido pelo efeito direto da morte da espiguetas, esterilidade da espiguetas e macho esterilidade.

Em milho, e presumivelmente na maioria dos cereais, processos de desenvolvimento sensíveis à temperatura podem ser divididos em duas categorias. A primeira categoria inclui a iniciação e o aparecimento de folhas e as durações dos estádios de crescimento ED2 e ED3 – processos que são independentes de luz e portanto da taxa de crescimento, no mínimo quando plantas são expostas à luminosidade normal no campo. A segunda categoria inclui os processos reprodutivos, que determinam o potencial de rendimento como expressado pelo número de espiguetas ou grãos produzidos por uma panícula.

Nos ambientes de campo e condições controladas, o número final de unidades reprodutivas depende da taxa de crescimento da planta (e, portanto, normalmente da irradiância) tanto quanto da temperatura. A relação entre irradiância e tempo termal é o primeiro passo para a combinação da luz e da temperatura em uma forma fisiologicamente apropriada. Exemplos da primeira categoria são relativamente bem documentados para vários cereais.

O número final de folhas e o tempo para antese foram associados para predições derivadas do tempo termal e duração das fases ED1 e ED2. Em contraste, a segunda categoria não é tão bem definida, embora sua significância agrônômica seja óbvia. O conceito da “taxa de crescimento termal”, que incorpora a taxa de crescimento por taxa unitária de desenvolvimento, é importante para o entendimento de como os componentes do rendimento são determinados, não apenas em milho, mas em todas as outras plantas cultivadas. Uma interessante tentativa é usar este conceito para explicar a sobrevivência da espiguetas e do número de grãos, como em milho,

milho e trigo.

Índice de colheita

A comparação do índice de colheita e tamanho de planta do milho (para a cv. BK 560) cultivado em diferentes regimes de irrigação, espaçamento e temperatura suporta a hipótese de que o número final de grãos produzidos é determinado precocemente na vida da cultura e grandes diferenças no tamanho da planta após a antese têm um efeito relativamente pequeno no índice de colheita final, a menos que a mortalidade de perfilho seja substancial. De um experimento sobre espaçamento e de outro sobre intercultivo, o índice de colheita foi de 0,34 a 0,45, a despeito de diferenças em tamanho de planta. Durante o estágio de desenvolvimento ED2, é improvável ter uma grande diferença entre plantas semeadas na mesma data e no mesmo local em termos da extração de água e/ou da interceptação da radiação. Entretanto, o número de grãos ou de perfilhos férteis é também determinado precocemente. Temperaturas mais baixas (19°C) em ED2 também reduzem o índice de colheita por causa de menor quantidade de grãos e proporcionalmente mais perfilhos vegetativos.

Embrapa. Todos os direitos reservados, conforme [Lei nº 9.610](#).

