



Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2002

Autores

Paulo César Magalhães
Engenheiro Agrônomo,
PhD, pesquisador da
Embrapa Milho e Sorgo
Caixa Postal 151
CEP 35701-970
Sete Lagoas – MG
E-mail:
pcesar@cnpms.embrapa.br

Frederico O. M. Durães
Engenheiro Agrônomo,
PhD, pesquisador da
Embrapa Milho e Sorgo
E-mail:
fduraes@cnpms.embrapa.br

Newton Portilho Carneiro
Engenheiro Agrônomo,
PhD, pesquisador da
Embrapa Milho e Sorgo
E-mail:
newtonc@cnpms.embrapa.br

Edilson Paiva
Engenheiro Agrônomo,
PhD, pesquisador da
Embrapa Milho e Sorgo
E-mail:
edilson@cnpms.embrapa.br



Fisiologia do Milho

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta que pertence à família Gramineae/Poaceae. O caráter monóico e a sua morfologia característica resultam da supressão, condensação e multiplicação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. Os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho podem ser modificados através da interação com os fatores ambientais que afetam o controle da ontogenia do desenvolvimento. Contudo, o resultado geral da seleção natural e da domesticação foi produzir uma planta anual, robusta e ereta, com um a quatro metros de altura, que é esplendidamente “construída” para a produção de grãos.

O milho é uma das mais eficientes plantas armazenadoras de energia existentes na natureza. De uma semente que pesa pouco mais de 0,3 g irá surgir uma planta geralmente com mais de 2,0 m de altura, isto dentro de um espaço de tempo de cerca de nove semanas. Nos meses seguintes, essa planta produz cerca de 600 a 1.000 sementes similares àquela da qual se originou (Aldrich et al., 1982).

A absorção, o transporte e a conseqüente transpiração de água pelas plantas são conseqüência da demanda evaporativa da atmosfera (evapotranspiração potencial), resistência estomática e difusão de vapor, água disponível no solo e densidade de raízes (Klar, 1984). A planta absorve água do solo para atender às suas necessidades fisiológicas e, com isto, suprir a sua necessidade em nutrientes, que são transportados junto com a água, sob a forma de fluxo de massa. Do total de água absorvida pela planta, uma quantidade bem reduzida (cerca de 1%) é retida pela mesma. Embora possa-se pensar que há desperdício, na verdade isso não ocorre, pois é pelo processo da transpiração (perda de calor latente) que os vegetais controlam a sua temperatura (Klar, 1984; Magalhães et al., 1995).

As restrições causadas pela baixa disponibilidade de água do solo ou pela alta demanda evaporativa acionam certos mecanismos fisiológicos que permitem aos vegetais escapar ou tolerar essas limitações climáticas, modificando seu crescimento e desenvolvimento, e até mesmo atenuando as reduções na produção final.

Dentre os mecanismos que podem contribuir para a resistência à seca e que têm sido considerados em programas de melhoramento genético, apontam-se, entre outros: a) sistema radicular extenso ou maior relação raiz/parte aérea; b) pequeno tamanho de células; c) cutícula foliar (com maior espessura e cerosidade); d) mudanças no ângulo foliar; e) comportamento e frequência estomática; f) acúmulo de metabólito intermediário; g) ajuste osmótico; h) resistência à desidratação das células (Magalhães et al., 1995).

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Aldrich et al., 1982). 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; 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, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos (Magalhães et al., 1995). Portanto, a importância da água está relacionada também com a fotossíntese, uma vez que o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas implica menor disponibilidade de CO₂ para fotossíntese e limitação dos processos de alongação celular (Devlin, 1975; Salisbury & Ross, 1982; Klar, 1984). A falta de água é sempre acompanhada por interferência nos processos de síntese de RNA e proteína, caracterizada por um aumento aparente na quantidade de aminoácidos livres, como a prolina. A manutenção da pressão de turgescência celular através do acúmulo de solutos (ajustamento osmótico) é um mecanismo de adaptação das plantas para seu crescimento ou sobrevivência em períodos de estresse de água. Apesar do alto requerimento de água pela planta de milho, ela é eficiente no seu uso para conversão de matéria seca (Klar,

1984 ; Salisbury & Ross, 1982; Aldrich et al., 1982).

Importância da Cultura do Milho

O milho é uma das plantas cultivadas de maior interesse, quanto à sua origem, estrutura e variação. Somente é conhecido em cultivo e, na sua forma atual, não apresenta indicativos de que poderia subsistir sem os cuidados do homem. A pesquisa tem desenvolvido tipos tão diferentes de milho que seu cultivo é possível desde o Equador até o limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600m. Essa adaptabilidade, representada por genótipos variados, é paralela à variedade de sua utilização como alimento, forragem ou na indústria.

As Tabelas 1 e 2 refletem bem a importância da cultura do milho no Brasil, onde se pode apreciar, nas diversas regiões e estados produtores, a área plantada, a produção em toneladas, assim como o rendimento nas duas safras, a normal e a safrinha.

A cultura do milho encontra-se amplamente disseminada no Brasil. Isto se deve tanto à sua multiplicidade de usos na propriedade rural quanto à tradição de cultivo desse cereal pelos agricultores brasileiros.

No âmbito tecnológico, o comportamento de aversão ao risco, a baixa disponibilidade de capital para custeio e menor ainda para investimento, o grau de instrução formal geralmente baixo, a comercialização fortemente vinculada a intermediários e o alto grau de consumo na fazenda são características geralmente associadas à condição de pequeno produtor.

Diferenças nos rendimentos agrícolas são devido a fatores edafoclimáticos e econômicos e ao estoque de conhecimento disponível e disseminado entre os agricultores (no que se refere ao uso de insumos e práticas culturais).

Tabela 1. Comparativo de área, produção e produtividade de milho (1ª safra) nos estados/regiões brasileiras. Safras 2000/2001 e 2001/2002.

UF	Área (Em mil ha)			Produção (Em mil t)			Produtividade (kg/ha)		
	00/01	01/02	VAR (%)	00/01	01/02	VAR (%)	00/01	01/02	VAR (%)
RR	11,0	14,0		16,5	21,0	27,3			
RO	125,0	106,3	27,0	206,3	193,5	-6,2	1.500	1.500	-
AC	30,0	30,0	15,0	45,6	45,6		1.650	1.820	10
AM	10,5	10,5	-	15,8	14,7	-7,0	1.520	1.520	-
AP	1,8	2,0	-	1,4	1,5	7,1	1.500	1.400	-7
PA	318,8	274,2	11,0	510,1	449,7	-11,8	770	770	
TO	61,5	63,3	14,0	120,5	124,1	3,0	1.600	1.640	2
Norte	558,6	500,3	3,0	916,2	850,1	-7,2	1.960	1.960	-
MA	322,9	324,5	10,4	310,0	292,1		1.640	1.699	4
PI	278,0	300,2	0,5	144,6	110,2	5,8	960	900	-6
CE	612,8	690,6	8,0	245,1	621,5	-	520	367	-
RN	83,0	103,8	12,7	8,0	67,5	23,8	400	900	29
PB	140,1	165,3	25,0	8,4	74,4	153,6	96	650	125
PE	270,0	300,0	18,0	43,2	135,0	743,8	60	450	577
AL	77,9	81,8	11,1	116,9	163,6	785,7	160	450	650
SE	90,0	100,8	5,0	99,0	110,9	212,5			181
BA	425,0	357,0	16,0	892,5	731,9	39,9	1.500	2.000	33
Nordeste	2.299,7	2.424,0	12,0	1.867,7	2.307,1	12,0	1.100	1.100	-
PR	1.852,1	1.490,9	5,4	9.445,7	7.380,0	18,0	2.100	2.050	-2
SC	893,0	839,4	19,5	3.947,1	3.156,1	23,5	812	952	17
RS	1.663,2	1.430,4	6,0	6.237,0	3.976,5	-	5.100	4.950	-3
Sul	4.408,3		14,0			20,0	4.420	3.760	-15
		3.760,7	14,7	19.629,8	14.512,6	36,2	3.750	2.780	-26
						26,1	4.453	3.059	-13

Continuação da Tabela 1.

UF	Área (Em mil ha)			Produção (Em mil t)			Produtividade (tq/ha)		
	00/01	01/02	VAR (%)	00/01	01/02	VAR (%)	00/01	01/02	VAR (%)
MG	1.221,5		-	4.153,1	4.627,2	11,4			18
		1.156,8	5,3				3.400	4.000	
ES	46,9	50,2		129,0	138,1	7,1	2.750	2.750	
			7,0						
RJ	14,4	11,8		28,1	26,9	-	1.950	2.280	17
			-			4,3			
SP	790,7	751,2	18,0	3.376,3	3.350,4				4
			-5,0			-0,8	4.270	4.460	
Sudeste	2.073,5			7.686,5	8.142,6	5,9			11
		1.970,0	5,0				3.707	4.133	
MT	220,0	187,0	-	891,0	720,0	-19,2			-5
			15,0				4.050	3.850	
MS	217,0	119,4	-	1.204,4	637,6	-47,1			-4
			45,0				5.550	5.340	
GO	740,5	481,3	-	3.517,4	2.435,4	-30,8			7
			35,0				4.750	5.060	
DF	28,5	22,5	-	120,0	131,0	9,2			38
			21,0				4.210	5.820	
C- Oeste	1.206,0	810,2	-	5.732,8	3.924,0	-31,6			2
			32,8				4.754	4.843	
N/NF	2.858,3			2.783,9	3.157,2	13,4	974		11
		2.924,3	2,3					1.080	
C-Sul	1.687,8		-			-19,6			-5
		6.540,9	14,9	33.049,1	26.579,2		4.299	4.064	
Brasil			-			-17,0			-8
	10.546,1	9.465,2	10,2	35.833,0	29.736,4		3.398	3.142	

Fonte: CONAB (2002).

Tabela 2. Comparativo de área, produção e produtividade de milho (2ª safra) nos estados/regiões brasileiras. Safras 2001 e 2002.

UF	Área (Em mil ha)			Produção (Em mil t)			Produtividade (kg/ha)		
	2001	2002	VAR (%)	2001	2002	VAR (%)	2001	2002	VAR (%)
BA	280,5	322,6		120,6	264,5	119,3	430	820	90,7
			15,0						
Nor-deste	280,5	322,6		120,6	264,5	119,3	430	820	90,7
			15,0						
PR	944,9		6,0			-33,3	1.950		-
		1.001,6		2.929,2	1.953,1		3.100		37,1
Sul	944,9		6,0			-33,3	1.950		-
		1.001,6		2.929,2	1.953,1		3.100		37,1
MG	24,9	37,4		74,7	130,9	75,2	3.500	16,7	
			50,0				3.000		
SP	353,5	332,3	-6,0	830,7	598,1	-28,0	1.800		-
							2.350		23,4
Su-deste	378,4	369,7	-2,3	905,4	729,0	-19,5	1.972	-17,6	
							2.393		
MT	322,9	558,6		952,6		55,4	2.650	-10,2	
			73,0		1.480,3		2.950		
MS	328,9	361,8		970,3	651,2	-32,9	1.800	-39,0	
			10,0				2.950		
GO	165,6	265,0		563,0	907,6	61,2	3.425	0,7	
			60,0				3.400		
DF	5,2	5,7		15,6	17,1	9,6	3.000		-
			10,0				3.000		
C-	822,6					22,2	2.566	-15,6	
Oeste		1.191,1	44,8	2.501,5	3.056,2		3.041		
N/NE	280,5	322,6		120,6	264,5	119,3	430	820	90,7
			15,0						
C-Sul						-9,4	2.239	-24,2	
	2.145,9	2.562,4	19,4	6.336,1	5.738,3		2.953		
Brasil						-7,0	2.081	-21,8	
	2.426,4	2.885,0	18,9	6.456,7	6.002,8		2.661		

Fonte: CONAB (2002).

A partir do início da década de 70 até recentemente, em face de fatores como o crescimento da indústria de rações e das atividades de criação (principalmente avicultura, suinocultura e pecuária leiteira), o consumo interno de milho cresceu consideravelmente (CONAB, 2002).

Identificação dos Estádios de Crescimento/Desenvolvimento

Para um eficiente manejo de irrigação, de nutrientes e de outras práticas culturais, é de fundamental importância o conhecimento das diferentes fases de crescimento do milho com suas diferentes demandas. Portanto, é importante enfatizar os diversos estádios de crescimento da planta de milho, desde a sua emergência até a maturidade fisiológica.

As considerações feitas a seguir se referem a um genótipo de milho de ciclo normal, cuja floração acontece aos 65 dias após a emergência.

Todas as plantas de milho seguem um mesmo padrão de desenvolvimento, porém, o intervalo de tempo específico entre os estádios e o número total de folhas desenvolvidas podem variar entre cultivares diferentes, ano agrícola, data de plantio e local.

O sistema de identificação empregado divide o desenvolvimento da planta em vegetativo (V) e reprodutivo (R), conforme mostra a Tabela 3. Subdivisões dos estádios vegetativos são designados numericamente como V_1 , V_2 , V_3 até V_n ; em que (n) representa a última folha emitida antes do pendoamento (V_T). O primeiro e o último estádios V são representados, respectivamente, por (V_E , emergência) e (V_T , pendoamento).

Tabela 3. Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.

Vegetativo	Reprodutivo
V_0 , emergência	R_1 , Embolçamento
V_1 , 1ª folha desenvolvida	R_2 , Bolha d'água
V_2 , 2ª folha desenvolvida	R_3 , Leitoso
V_3 , 3ª folha desenvolvida	R_4 , Pastoso
V_4 , 4ª folha desenvolvida	R_5 , Formação de dente
V_n , nª folha desenvolvida	R_6 , Maturidade Fisiológica
V_T , pendoamento	

Durante a fase vegetativa, cada estádio é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo. Assim, a primeira folha de cima para baixo é considerada completamente desenvolvida quando o colar é visível e, portanto, é contada como tal. Esse sistema é semelhante ao utilizado por Ritchie & Hanway (1989).

Germinação e Emergência

Estádio V_E - 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 coleóptilo

com plúmula incluída. O estádio V_E é atingido pela rápida elongação do mesocótilo, o qual empurra o coleóptilo em crescimento para a superfície do solo. Em condições de temperatura e umidade adequada, a planta emerge dentro de 4 a 5 dias, porém, em condições de 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 coleóptilo, o mesocótilo pára de crescer.

O sistema radicular seminal, que são as raízes oriundas diretamente da semente, tem o seu crescimento nessa fase e a profundidade em que as raízes se encontram depende da profundidade do plantio. O crescimento dessas raízes, também conhecido como sistema radicular temporário, diminui após o estádio V_E e praticamente inexistente no estádio V_3 .

O ponto de crescimento da planta de milho, nesse estádio, está localizado cerca de 2,5 a 4,0 cm abaixo da superfície do solo e encontra-se logo acima do mesocótilo. Essa profundidade em que se acha o ponto de crescimento é também a profundidade onde vai-se originar o sistema radicular definitivo do milho, conhecido como raízes nodais ou fasciculada. A profundidade do sistema radicular definitivo independe da profundidade de plantio, uma vez que a emergência da planta vai depender do potencial máximo de alongamento de mesocótilo, conforme pode ser visto na Figura 1 (Ritchie & Hanway, 1989).

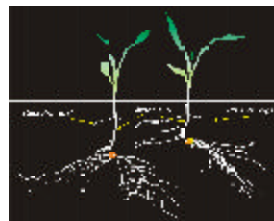


Figura 1. Duas profundidades de plantio, mostrando detalhe do alongamento do mesocótilo. (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

O sistema radicular nodal inicia-se, portanto, no estágio V_E e o alongamento das primeiras raízes, no estágio V_1 , indo até o R_3 , após o qual muito pouco crescimento ocorre (Magalhães et al., 1994).

No milho, não é constatada a presença de fatores inibitórios ao processo de germinação, visto que, sob condições ótimas de umidade, os grãos podem germinar imediatamente após a maturidade fisiológica, mesmo ainda estando presos à espiga. Em síntese, na germinação ocorre a embebição da semente, com a conseqüente digestão das substâncias de reserva, síntese de enzimas e divisão celular.

Baixa temperatura no plantio geralmente restringe absorção de nutrientes do solo e causa lentidão no crescimento. Esse fato pode ser parcialmente superado por uma aplicação de pequena quantidade de fertilizante no sulco de plantio, ao lado ou abaixo da semente (Aldrich et al. 1982).

A lentidão na germinação predispõe a semente e a plântula a uma menor resistência a condições ambientais adversas, bom como ao ataque de patógenos, principalmente fungos do gênero *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Phytium* e *Macrophomina*. Para uma germinação e emergência mais rápidas em plantio mais cedo, deve-se optar por uma profundidade de plantio mais rasa, onde a temperatura do solo é mais favorável. Em plantios tardios, as temperaturas do solo são geralmente adequadas em qualquer profundidade e a umidade do solo, nesse caso, é o fator limitante para rápido crescimento (Ritchie & Hanway, 1989; Aldrich et al., 1982).

Na falta de irrigação ou chuva recente, as camadas mais profundas do solo possuem maior teor de umidade nos plantios tardios.

Estádio V_3

(Três folhas desenvolvidas - Figura 2) - O estágio de três folhas completamente desenvolvidas ocorre com aproximadamente

duas semanas após o plantio. Nesse estágio, o ponto de crescimento ainda se encontra abaixo da superfície do solo e a planta possui ainda pouco caule formado (Figura 3). Pêlos radiculares do sistema radicular nodal estão agora em crescimento e o desenvolvimento das raízes seminais é paralisado (Magalhães et al., 1994).



Figura 2. Estádio de três folhas completamente desenvolvidas.

Todas as folhas e espigas que a planta eventualmente irá produzir estão sendo formadas no V_3 . Pode-se dizer, portanto, que o número máximo de grãos ou a produção potencial estão sendo definidos nesse estágio. No estágio V_5 (cinco folhas completamente desenvolvidas), tanto a iniciação das folhas como das espigas vai estar completa e a iniciação do pendão já pode ser vista microscopicamente na extremidade de formação do caule, logo abaixo da superfície do solo (Magalhães et al., 1994).

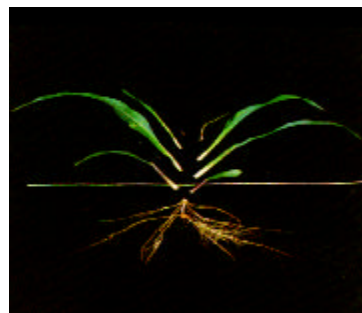


Figura 3. Planta no estágio V_3 , mostrando o ponto de crescimento abaixo da superfície do solo. (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

O ponto de crescimento, que encontra-se abaixo da superfície do solo, é bastante afetado pela temperatura do solo nesses estádios iniciais do crescimento vegetativo. Assim, temperaturas baixas podem aumentar o tempo decorrente entre um estágio e outro, alongando o ciclo da cultura, podendo aumentar o número total de folhas, atrasar a formação do pendão e diminuir a disponibilidade de nutrientes para a planta. Uma chuva de granizo ou vento nesse estágio vai ter muito pouco ou nenhum efeito na produção final de grãos. Disponibilidade de água nesse estágio é fundamental. Por outro lado, o excesso de umidade ou encharcamento, quando o ponto de crescimento ainda encontra-se abaixo da superfície do solo, pode matar a planta em poucos dias (Ritchie & Hanway, 1989, Aldrich et al., 1982).

Controle de plantas daninhas nessa fase é fundamental para reduzir a competição por luz, água e nutrientes. Como o sistema radicular está em pleno desenvolvimento, mostrando considerável porcentagem de pêlos absorventes e ramificações diferenciadas, operações inadequadas de cultivo (profundas ou próximas a planta) poderão afetar a densidade e distribuição de raízes, com conseqüente redução na produtividade. Portanto, é recomendada cautela no cultivo.

Estádio V_6

(Seis folhas desenvolvidas - Figura 4) - Nesse estágio, o ponto de crescimento e pendão estão acima do nível do solo (Figura 5) e o colmo está iniciando um período de alongação acelerada. O sistema radicular nodal (fasciculado) está em pleno funcionamento e em crescimento.



Figura 4. Estádio de seis folhas completamente desenvolvidas. (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

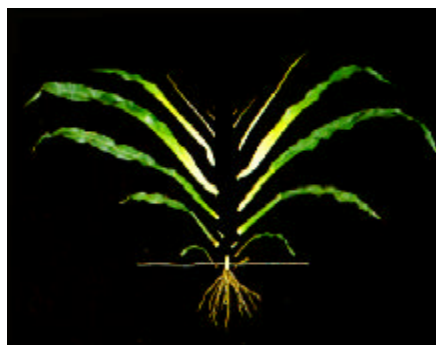


Figura 5. Planta no estágio V_6 , mostrando o ponto de crescimento acima da superfície do solo.

Nesse estágio, pode ocorrer o aparecimento de eventuais perfilhos, dependendo da cultivar, do estado nutricional da planta, do espaçamento adotado, do ataque de pragas e de alterações bruscas de temperatura (baixa ou alta). No entanto, existem poucas evidências experimentais que demonstram a sua influência negativa na produção (Magalhães et al., 1995).

No estágio V_6 , inicia-se a queda das primeiras folhas e o número de fileiras de grãos é definido. Durante esse estágio, constata-se a máxima tolerância ao excesso de chuvas e ao encharcamento. No entanto, encharcamentos por períodos de tempo maior que cinco dias poderão acarretar prejuízos consideráveis e irreversíveis.

Estresse hídrico nessa fase pode afetar o comprimento de internódios, provavelmente pela inibição da alongação das células em desenvolvimento, concorrendo, desse modo, para a diminuição da capacidade de armazenagem de açúcares no colmo. O déficit de água também vai resultar em colmos mais finos, plantas de menor porte e menor área foliar (Magalhães et al., 1998).

Evidências experimentais demonstram que a distribuição total das folhas expostas, nesse período, mediante ocorrência de granizo, geada, ataque severo de pragas e doenças, além de outros agentes, acarretará quedas na produção da ordem de 10 a 25% (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Períodos secos, aliados à conformação da planta, característica dessa fase (conhecida como fase do “cartucho”), conferem à cultura do milho elevada suscetibilidade ao ataque da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), exigindo, assim, constante vigilância.

De V_6 até o estágio V_8 , deverá ser aplicada a adubação nitrogenada em cobertura (Coelho & França, 1995).

Estádio V_9

Nesse estágio, muitas espigas são facilmente visíveis, se for feita uma dissecação da planta (Figura 6). Todo nó da planta tem potencial para produzir uma espiga, exceto os últimos seis a oito nós abaixo do pendão. Assim, uma planta de milho teria potencial para produzir várias espigas, porém, apenas uma ou duas (caráter prolífico) espigas conseguem completar o crescimento.

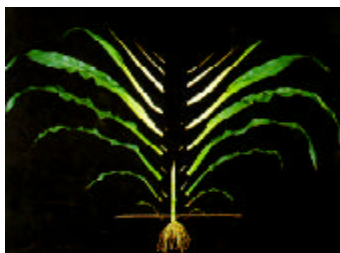


Figura 6. Estádio V_9 , mostrando detalhes de várias espigas potenciais. (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

Nesse estágio, ocorre alta taxa de desenvolvimento de órgãos florais. O pendão inicia um rápido desenvolvimento e o caule continua alongando. A alongação do caule ocorre através dos entrenós. Após o estágio V_{10} , o tempo de aparição entre um estágio foliar e outro vai encurtar, geralmente ocorrendo a cada dois ou três dias (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al. 1994).

Próximo ao estágio V_{10} , a planta de milho inicia um rápido e contínuo crescimento, com acumulação de nutrientes e peso seco, os quais continuarão até os estádios reprodutivos. Há uma grande demanda no suprimento de água e nutrientes para satisfazer as necessidades da planta (Magalhães & Jones, 1990a).

Estádio V_{12}

O número de óvulos (grãos em potencial) em cada espiga, assim como o tamanho da espiga, são definidos em V_{12} , quando ocorre perda de duas a quatro folhas basais. Pode-se considerar que, nessa 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 foi estabelecido; no entanto, o número de grãos/fileira só será definido cerca de uma semana antes do florescimento, em torno do estágio V_{17} (Magalhães et al., 1994).

Em V_{12} , a planta atinge cerca de 85% a 90% da área foliar, e observa-se o início do desenvolvimento das raízes adventícias (“esporões”).

Devido ao número de óvulos e tamanho da espiga serem definidos nessa fase, a deficiência de umidade ou nutrientes pode reduzir seriamente o número potencial de sementes, assim como o tamanho das espigas a serem colhidas. O potencial desses dois fatores de produção está também relacionado com o período de tempo disponível para o estabelecimento deles, o qual corresponde ao período de V_{10} a V_{17} .

Assim, genótipos precoces, geralmente, nesses estádios, possuem um período mais curto de tempo e usualmente têm espigas menores que a dos genótipos tardios. Uma maneira de compensar essa desvantagem dos precoces seria aumentar a densidade de plantio (Ritchie & Hanway, 1989).

Estádio V_{15}

Esse 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 um ou dois dias. Estilos-estigmas iniciam o crescimento nas espigas.

Em torno do estágio V_{15} , 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 ocorrendo no período de duas semanas antes até duas semanas após o florescimento vai causar grande redução na produção de grãos. Porém, a maior redução na produção poderá ocorrer com déficit hídrico na emissão dos estilos-estigmas (início de R_1). Isso é verdadeiro também para outros tipos de estresse, como deficiência de nutrientes, alta temperatura ou granizo. O período de quatro semanas em torno do florescimento é o mais importante para a irrigação (Magalhães et al., 1995).

Estádio V_{18}

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. Raízes aéreas, oriundas dos nós acima do solo, estão em crescimento nesse estágio. Essas raízes contribuem na absorção de água e nutrientes.

Em V_{18} , a planta do milho se encontra a uma semana do florescimento e o desenvolvimento da espiga continua em ritmo acelerado.

Estresse hídrico nesse período pode afetar mais o desenvolvimento do óvulo e espiga que o desenvolvimento do pendão. Com esse atraso no desenvolvimento da espiga, pode haver problemas na sincronia entre emissão de pólen e recepção pela espiga. 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 (Magalhães et al., 1994; Magalhães et al., 1995; Magalhães et al., 1999).

Híbridos não prolíficos produzirão cada vez menos grãos com o aumento da exposição ao estresse, porém, tendem a render mais que os prolíficos em condições não estressantes. Os prolíficos, por sua vez, tendem a apresentar rendimentos mais estáveis em condições variáveis de estresse, uma vez que o desenvolvimento da espiga é menos inibido pelo estresse (Aldrich et al., 1982; Ritchie & Hanway, 1989).

Pendoamento, V_T

Esse estágio inicia-se quando o último ramo do pendão está completamente visível e os “cabelos” não tenham ainda emergido. A emissão da inflorescência masculina antecede de dois a quatro dias a exposição dos estilos-estigmas; no entanto, 75% das espigas devem apresentar seus estilos-estigmas expostos no período de 10 a 12 dias após o aparecimento do pendão. O tempo decorrente entre V_T e R_1 pode variar consideravelmente, dependendo da cultivar e das condições ambientais. A perda de sincronismo entre a emissão dos grãos de pólen e a receptividade dos estilos-estigmas da espiga concorre para o aumento da porcentagem de espigas sem grãos nas extremidades. Em condições de campo, a liberação do pólen geralmente ocorre nos finais das manhãs e no início das noites. Nesse estágio, a planta atinge o máximo desenvolvimento e crescimento. Estresse

hídrico e temperaturas elevadas (acima de 35° C) podem reduzir drasticamente a produção. Um pendão de tamanho médio chega a ter 2,5 milhões de grãos de pólen, o que equivale dizer que a espiga em condições normais dificilmente deixará de ser polinizada pela falta de pólen, desde que o número de óvulos esteja em torno de 750 a 1000 (Magalhães et al., 1994; Magalhães et al., 1999; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

A planta apresenta alta sensibilidade ao encharcamento nessa fase e o excesso de água pode contribuir para a inviabilidade dos grãos de pólen.

A falta de água nesse período, além de afetar o sincronismo pendão-espiga, pode reduzir a chance de aparecimento de uma segunda espiga em materiais prolíficos.

Nos estádios de V_T a R_1 , a planta de milho é mais vulnerável às intempéries da natureza que qualquer outro período, devido ao pendão e todas as folhas estarem completamente expostas. Remoção de folha nesse estágio por certo resultará em perdas na colheita (Magalhães et al. 1999; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

O período de liberação do pólen estende-se por uma a duas semanas. Durante esse tempo, cada “cabelo” individual deve emergir e ser polinizado para resultar num grão.

Estádios Reprodutivos e Desenvolvimento do Grão

Estádio R_1 , Embonecamento e Polinização

Esse estágio é iniciado quando os estilos-estigmas estão visíveis, para fora das espigas. A polinização ocorre quando o grão de pólen liberado é capturado por um dos estilos-estigmas. O grão de pólen, uma vez em contato com o “cabelo”, demora cerca de 24 horas para percorrer o tubo polínico e fertilizar o óvulo. Geralmente o período requerido para todos os estilos-estigmas em uma espiga serem polinizados é de dois a três dias. Os

“cabelos” da espiga crescem cerca de 2,5 a 4,0 cm por dia e continuam a se alongar até serem fertilizados (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al., 1994).

O número de óvulos que será fertilizado é determinado nesse estágio. Óvulos não fertilizados evidentemente não produzirão grãos.

Estresse ambiental nessa fase, especialmente no hídrico, causa baixa polinização e baixa granação da espiga, uma vez que, sob seca, tanto os “cabelos” como os grãos de pólen tendem à dessecação. Não se deve descuidar de insetos como a lagarta-da-espiga e a lagarta-do-cartucho (*Heliothis zea* e *Spodoptera frugiperda*), que se alimentam dos “cabelos”. Deve-se combater essas pragas, caso haja necessidade. A absorção de potássio nessa fase está completa, enquanto nitrogênio e fósforo continuam sendo absorvidos.

A liberação do grão de pólen pode iniciar-se ao amanhecer, estendendo-se até o meio-dia. No entanto, esse processo raramente exige mais de quatro horas para sua complementação. Ainda sob condições favoráveis, o grão de pólen pode permanecer viável por até 24 horas. Sua longevidade, entretanto, pode ser reduzida quando submetido a baixa umidade e altas temperaturas (Magalhães et al., 1994).

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 tubo polínico, que é responsável pela fecundação do óvulo inserido na espiga. A fertilização ocorre de 12 a 36 horas após a polinização, período esse variável em função de alguns fatores envolvidos no processo, tais como teor de água, temperatura, ponto de contato e comprimento do estilo-estigma (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al., 1994; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

O número de óvulos fertilizados apresenta estreita correlação com o estado nutricional

da planta, com a temperatura, bem como com a condição de umidade contida no solo e no ar.

Evidencia-se, portanto, a decisiva influência do ambiente nessa etapa de desenvolvimento, recomendando-se criterioso planejamento da cultura, com referência principal à época de semeadura e à escolha do cultivar, de forma a garantir as condições climáticas favoráveis exigidas pela planta nesse estágio.

A escolha do genótipo para uma determinada região, assim como a época de semeadura, deve ser fundamentada em fatores como finalidade da produção, disponibilidade de calor e água, ocorrência de veranicos durante o ciclo, bem como no nível tecnológico a ser adotado, entre outros (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Estádio R_2 , Grão Bolha d'Água

Os grãos aqui apresentam-se brancos na aparência externa e com aspecto de uma bolha d'água. O endosperma, portanto, está com uma coloração clara, assim como o seu conteúdo, que é basicamente um fluido cuja composição são açúcares. Embora o embrião esteja ainda desenvolvendo-se vagarosamente nesse estágio, a radícula, o coleóptilo e a primeira folha embrionária já estão formados. Dentro do embrião em desenvolvimento já encontra-se uma planta de milho em miniatura. A espiga está próximo de atingir seu tamanho máximo. Os estilos-estigmas, tendo completado sua função no florescimento, estão agora escurecidos e começando a secar (Richie & Hanway 1989; Magalhães et al., 1994).

A acumulação de amido inicia-se nesse estágio, com os grãos experimentando um período de rápida acumulação de matéria seca. Esse rápido desenvolvimento continuará até próximo ao estágio R_6 . N e P continuam sendo absorvidos e a realocação desses nutrientes das partes vegetativas para a espiga tem início nesse estágio. A umidade

de 85% nos grãos, nessa fase, começa a diminuir gradualmente até a colheita (Magalhães & Jones, 1990 a,b ; Magalhães et al., 1994).

Estádio R_3 , Grão Leitoso

Essa fase é iniciada normalmente 12 a 15 dias após a polinização. O grão apresenta-se com uma aparência amarela e no seu interior um fluido de cor leitosa, o qual representa o início da transformação dos açúcares em amido, contribuindo para o incremento de seu peso seco (Figura 7). Tal incremento ocorre devido à translocação dos fotoassimilados presentes nas folhas e no colmo para a espiga e grãos em formação. A eficiência dessa translocação, além de ser importante para a produção, é extremamente dependente de água (Magalhães & Jones, 1990b; Magalhães et al., 1998). Embora, nesse estágio, o crescimento do embrião ainda seja considerado lento, ele já pode ser visto caso haja uma dissecação. Esse estágio é conhecido como aquele em que ocorre a definição da densidade dos grãos (Magalhães et al., 1994; Fancelli & Dourado Neto, 2000).



Figura 7. Estádio R_3 ou Grão leitoso com umidade em torno de 80%.

Os grãos, nessa fase, apresentam rápida acumulação de matéria seca, com cerca de 80% de umidade, sendo que as divisões celulares dentro do endosperma apresentam-se essencialmente completas. O crescimento a partir daí é devido à expansão e ao enchimento das células do endosperma com amido.

O rendimento final depende do número de grãos em enchimento (desenvolvimento) e do tamanho final (período de enchimento) que eles alcançarão. Um estresse hídrico nessa fase, embora menos crítico que na fase anterior, pode afetar a produção. Com o processo de maturação dos grãos, o potencial de redução na produção final de grãos devido ao estresse hídrico vai diminuindo. Embora, nesse período, a planta deva apresentar considerável teor de sólidos solúveis prontamente disponíveis, objetivando a evolução do processo de formação de grãos, a fotossíntese mostra-se imprescindível.

Em termos gerais, considera-se como importante caráter condicionador de produção a extensão da área foliar que permanece fisiologicamente ativa após a emergência da espiga. Períodos nublados (ou de reduzida intensidade luminosa) acarretarão, nessa fase, a redução da fotossíntese, aumento do nível de estresse da planta, implicando redução da taxa de acúmulo de matéria seca do grão e, conseqüentemente, redução também na produção final de grãos, além de favorecer a incidência de doenças do colmo (Magalhães et al., 1995; Magalhães et al., 1998; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Para lavouras destinadas à produção de sementes, este período assume particular importância, pois tem início o desencadeamento dos processos de diferenciação do coleóptilo, da radícula e das folhas rudimentares. Ainda nesse estágio, evidencia-se a translocação efetiva de N e P para os grãos em formação (Magalhães & Jones, 1990a; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Estádio R₄, Grão Pastoso

Esse estágio é alcançado com cerca de 20 a 25 dias após a emissão dos estilos-estigmas, os grãos continuam desenvolvendo-se rapidamente, acumulando amido. O fluido interno dos grãos passa de um estado leitoso para uma consistência pastosa (Figura 8) e as

estruturas embrionárias de dentro dos grãos encontram-se já totalmente diferenciadas. A deposição de amido é bastante acentuada, caracterizando um período exclusivamente destinado ao ganho de peso por parte do grão. Em condições de campo, tal etapa do desenvolvimento é prontamente reconhecida, pois, quando os grãos presentes são submetidos à pressão imposta pelos dedos, mostram-se relativamente consistentes, embora ainda possam apresentar pequena quantidade de sólidos solúveis, cuja presença em abundância caracteriza o estágio R₅ (grão leitoso) (Magalhães et al., 1994).



Figura 8. Grãos no estágio R₄, pastoso. (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

Os grãos encontram-se com cerca de 70% de umidade e já acumularam cerca da metade do peso que eles atingirão na maturidade. A ocorrência de adversidades climáticas, sobretudo falta de água, resultará numa maior porcentagem de grãos leves e pequenos, o que comprometeria definitivamente a produção.

Estádio R₅, Formação de dente

Esse período é caracterizado pelo aparecimento de uma concavidade na parte superior do grão, comumente designada de "dente" e coincide normalmente com o 36º dia após o princípio da polinização. Nessa etapa, 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. Essa linha aparece logo após a formação do dente e, com a maturação, vem avançando em direção à base do grão.

Devido à acumulação do amido, acima da linha é duro e abaixo é macio. Nesse estágio, o embrião continua desenvolvendo-se, sendo que, além do acentuado acréscimo de volume experimentado pelo endosperma, mediante o aumento do tamanho das células, observa-se também a completa diferenciação da radícula e das folhas embrionárias no interior dos grãos (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al. 1994; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Alguns genótipos do tipo “duro” não formam dente, daí ser mais difícil notar esse estágio nos referidos materiais, podendo ser apenas relacionado ao aumento gradativo da dureza dos grãos.

Estresse ambiental nessa fase pode antecipar o aparecimento da formação da camada preta, indicadora da maturidade fisiológica. A redução na produção, nesse caso, seria relacionada ao peso dos grãos e não ao número de grãos. Os grãos, nesse estágio, apresentam-se com cerca de 55% de umidade (Magalhães et al., 1994).

Materiais destinados a silagem devem ser colhidos nesse estágio, pois as plantas apresentam em torno de 33 a 37% de matéria seca. O milho colhido nessa fase apresenta as seguintes vantagens: apesar do decréscimo na produção de matéria verde, obtém-se significativo aumento na produção de matéria seca por área; decréscimo nas perdas de armazenamento, pela diminuição do efluente, e aumento significativo no consumo voluntário da silagem produzida (Fancelli & Dourado Neto, 2000).

Estádio R₆, Maturidade Fisiológica

Esse é o estágio em que todos os grãos na espiga alcançam o máximo de acumulação de peso seco e vigor; ocorre cerca de 50 a 60 dias após a polinização. 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 (Figura 9). 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, as quais gradativamente começam a perder a sua coloração verde característica (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al. 1994).

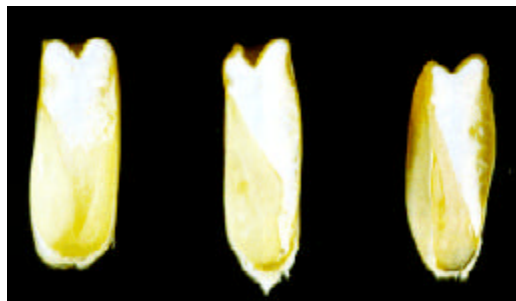


Figura 9. Detalhe do desenvolvimento da camada preta (ponto da maturidade fisiológica), (Adaptado de Ritchie & Hanway, 1989).

O ponto de maturidade fisiológica caracteriza o momento ideal para a colheita, ou ponto de máxima produção, com 30 a 38% de umidade, podendo variar entre 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. Com cerca de 18 a 25% de umidade, a colheita já pode acontecer, desde que o produto colhido seja submetido a uma secagem artificial antes de ser armazenado.

A qualidade dos grãos produzidos pode ser avaliada pela percentagem de grãos ardidos, que interfere notadamente na destinação do milho, em qualquer segmento da cadeia de consumo. A ocorrência de grãos ardidos está diretamente relacionada ao híbrido de milho e ao nível de empalhamento a que estão submetidas as suas espigas. Ainda de forma indireta, a presença de pragas, adubações desequilibradas e período chuvoso no final do ciclo, atraso na colheita e incidência de algumas doenças podem influir no incremento do número de grãos ardidos (Ritchie & Hanway, 1989; Magalhães et al. 1994; Fancelli & Dourado Neto, 2000).

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

Grãos

A constituição morfológica das plantas e de seus frutos determina o potencial de produção da espécie. No milho, o interesse cultural reside principalmente na produção de grãos, para alimentação humana e animal, e também para forragem.

O grão de milho é o fruto de uma semente, ou cariopse característico das gramíneas. O pericarpo (camada externa) é derivado da parede do ovário e pode ser incolor, vermelho, marrom ou variegado. A ponta do grão é a parte remanescente do tecido (pedicelo), que conecta o grão ao sabugo. Dentro do grão estão o endosperma e o embrião.

O endosperma é triploide, originado-se da fusão de dois núcleos femininos e um núcleo masculino. Com exceção da sua camada mais externa, constituída por uma (ou raramente algumas) camada de células de aleurona, o endosperma é constituído principalmente de amido.

Os embriões dos cereais não armazenam reservas durante o desenvolvimento da semente, a não ser uma pequena quantidade de lipídios no escutelo. Observa-se, entretanto, que as reservas de carboidratos são polimerizadas no endosperma, na forma de amido, e as reservas de proteínas, acumuladas nos corpos protéicos distribuídos em todo o endosperma. Em milho, a formação desses materiais de reserva, durante o desenvolvimento das sementes, tem sido bem estudada.

A concentração de açúcares atinge o máximo nesses tecidos um pouco antes do final da formação das células. O acúmulo de amido inicia-se às custas desses açúcares, alcançando o nível final em cerca de 46 dias.

A proteína do endosperma aumenta durante o período de formação das células, mas representa uma segunda fase de acúmulo, em torno de 40 dias após a antese, que coincide com a deposição de proteína de reserva nos corpos protéicos. Há um decréscimo de RNA no endosperma durante o período de rápida síntese de amido e o RNA decresce no endosperma durante o período de secagem da semente (46 dias após a antese).

Estudos do sistema de incorporação de aminoácidos em proteínas têm mostrado que, inicialmente, o sistema mais ativo encontra-se no endosperma em desenvolvimento, mas, nos últimos estádios de formação da semente, há diminuição dessa atividade no endosperma e o embrião torna-se o sistema mais ativo, quando inicia-se a dessecação das sementes.

Uma vez fertilizado, não há segurança de que o grão crescerá normalmente, pois vários fatores poderão impedir um crescimento normal. A presença da camada preta na base do grão (sinal de maturidade fisiológica) mostra que ele foi fertilizado e é independente do seu estágio de crescimento (enchimento).

Os vários tipos de milho (duro, dentado, farináceo, doce, ceroso, pipoca, QPM- "Quality Protein Maize") diferem em seu conteúdo de açúcar, teor e qualidade de proteína e também no tipo, forma e concentração dos grãos de amido. A composição média de um grão de milho dentado (com base no peso da matéria seca) é mostrada na Tabela 4.

Produtividade

O aumento da massa da planta por meio dos produtos da assimilação (*taxa de produção*, *TP*, ou *produtividade*) pode ser expresso em um aumento de matéria seca (m) por unidade de tempo (t, geralmente semanas ou dias) durante o período de produção: $TP = dm/dt$. O *rendimento da produção* (*Rp*) é, pois, o incremento acumulado de fitomassa, o qual é

Tabela 4. Composição média (%) de um grão de milho dentado, com base no peso da matéria seca.

Grão		Amido	Proteína	Lipídio	Açúcar	Cinza
Partes constituintes	Peso total					
Endosperma	82,6	87,6	7,9	0,83	0,62	0,33
Embrião	11,1	8,0	18,3	33,5	10,5	10,6
Pericarpo	5,4	7,2	3,6	1,03	0,36	0,85
Ponta	0,8	5,3	9,1	3,8	1,61	1,59
Peso total do grão	100	73,5	9,0	4,3	1,9	1,5

Fonte: Glover e Mertz (1987).

expresso por uma função integral. O rendimento da produção corresponde à diferença da massa orgânica seca no tempo inicial em relação ao tempo final, dentro do período de assimilação (dt), em que TP é a taxa de produção: $Rp = \int_0^t TP \cdot dt$. O rendimento da produção é o resultado da capacidade de assimilação da planta, do período disponível para a assimilação e das influências favoráveis e prejudiciais dos fatores ambientais, como: CO_2 , luz, temperatura, aparato foliar, nutrientes, status hídrico, pragas e doenças, etc.

No caso do milho, o rendimento de grãos é determinado basicamente pelo número de grãos por unidade de área e, em menor escala, pela massa individual do grãos (Richards, 2000). Enquanto a massa de grãos é influenciada pela taxa de enchimento de grãos e pelo tempo de acúmulo de massa seca (Wang et al., 1999), o número de grãos é associado à taxa de crescimento de planta no período de pendoamento (Andrade et al., 1999). Esse período, considerado crítico para a determinação do número de grãos, é também o mais suscetível a condições de estresse (Kiniry & Ritchie, 1985).

A taxa de crescimento de planta e a partição de massa seca entre órgãos vegetativos e reprodutivos, no período imediatamente antes e após o pendoamento, são fatores que definem o número de drenos reprodutivos que são estabelecidos pela planta (Andrade et al., 1999). A eficiência de uso da radiação interceptada, as condições de temperatura e

o "status" fisiológico da cultura nesse período, determinarão as taxas de crescimento da mesma, o número potencial de grãos e, conseqüentemente, o potencial produtivo da planta (Andrade et al., 1993a; Andrade et al., 1993b; Otegui & Bonhomme, 1998).

Alguns autores têm demonstrado que a relação entre número de grãos por planta e taxa de crescimento de planta apresenta comportamento linear, enquanto outras não (Andrade et al., 1999). Tais diferenças são explicadas pelo efeito diferenciado na partição de fitomassa e na duração do período crítico de determinação do número de grãos (Andrade et al., 1999). Uma maior relação entre número de grãos por planta e taxa de crescimento da planta no período crítico de determinação do número de grãos, e não uma maior taxa de crescimento nesse período, tem sido indicada como um dos fatores pelo qual os híbridos modernos são mais produtivos do que híbridos mais antigos (Echarte et al., 2000).

A produtividade depende do número de grãos polinizados e desenvolvidos e da quantidade de fotoassimilados disponíveis (fotossíntese). Com relação ao número de grãos, ele é variável dentro e entre cultivares. O número de grãos potencialmente capazes de se desenvolverem em uma espiga é influenciado por fatores ambientais. Há evidência de uma relação inversa entre número de filas de grãos por espiga e número de grãos viáveis por fila (número de grãos por espiga permanece

praticamente o mesmo). A espiga apresenta sempre um número par de fileiras e, quanto maior a tendência à prolificidade (maior número de espigas por planta), menor o número de grãos por espiga. Se uma planta tem só uma espiga, os grãos polinizados que não se desenvolveram serão encontrados na ponta da espiga.

Os primeiros dias após a fertilização constituem um período bastante crítico. Se proteínas ou açúcares estão limitantes devido à seca, deficiência nutricional, tempo muito nublado ou sombreamento oriundo de altas populações, os grãos na parte superior da espiga abortam e, apesar de fertilizados, não se desenvolvem. A maior sensibilidade à variação de luminosidade é verificada no início da fase reprodutiva, ou seja, no período correspondente aos primeiros 10 a 15 dias após o florescimento (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Em plantas com duas espigas, a superior apresenta maior número de grãos desenvolvidos, devido ao fato de haver uma hierarquia e preferência na formação desses grãos. Numa planta com duas espigas, a diminuição da fotossíntese (com remoção de folhas, por exemplo) diminuirá o número de grãos da espiga inferior. Um grão polinizado pode não desenvolver-se (acumular matéria seca) ou seu desenvolvimento pode ser bloqueado a meio caminho, originando um grão pequeno. O aparecimento de grãos enrugados na porção superior da espiga pode ser devido a: deficiência severa de água, destruição das folhas ou deficiência nutricional. Em resumo, pode-se dizer que o potencial genético para produtividade pode ser diminuído em vários estádios de desenvolvimento.

A questão se o rendimento de grão de milho é limitado pelas características da planta relacionadas à oferta de nutrientes (*fonte*, por exemplo, nutrientes, água, radiação, etc.) ou à demanda (*dreno*) por assimilados, nutrientes, água, radiação, dentre outros fatores, está em discussão. Dependendo do ambiente, se a *fonte* (aparato fotossintético)

ou o *dreno* (grãos, meristemas, órgãos/tecidos em crescimento) pode limitar o rendimento de grão para variados graus é depende da capacidade e performance da cultivar em estabelecer-se no campo, do estágio de desenvolvimento da cultura e da intensidade dos fatores ambientais presentes. Genericamente, para condições favoráveis de manejo, milhos tropicais são mais *dreno*-limitantes, visando rendimento de grãos.

O Rendimento de Grãos é Determinado pelos Componentes do Rendimento

O rendimento de grãos pode ser dividido dentre os componentes de plantas por hectare (p.ex., 50.000/ha), espigas por planta (EPP, p.ex., 1,1), grãos por espiga (GPE, p.ex., 440) e peso por grão (PPG, p.ex., 330 mg, ou 330×10^{-9} t).

$$\begin{aligned} \text{RG} &= (\text{Plantas/ha} \times \text{EPP} \times \text{GPE}) \times \text{PPG} & \text{11i} \\ &= (50.000 \times 1,1 \times 440) \times 330 \times 10^{-9} & \text{11ai} \\ &= [24.200.000] \text{ grãos/ha} \times 330 \times 10^{-9} \text{ toneladas por grão} \\ &= 7,986 = 8,0 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

A produção total de grãos por hectare é representada pelo termo entre colchetes (Equação 1); portanto, conforme os componentes observados, o rendimento de grão pode ser expresso pela Equação 1a.

Para uma menor densidade populacional de plantas de milho, outros componentes, como “índice de espiga” e/ou “número de grãos por espiga” e/ou “peso por grão” devem ser expressos diferentemente pelo genótipo e manejo, para resultar em rendimento similar (8,0 t/ha, como na Equação 1b) ou rendimento diferenciado (como, por exemplo, de 7,2 t/ha, **Eq. 1c**; 6,5 t/ha, **Eq. 1d**; 6,0 t/ha, **Eq. 1e**).

Visando aumentos de produtividade de grãos de milho a questão de população final em relação à população inicial de plantas é de fundamental importância. Cultivares modernas de milho estão sendo melhoradas para respostas positivas a aumentos de densidades. As recomendações técnicas quanto à escolha da cultivar devem ser observadas para o local, época do ano e tipo

de manejo a aplicar na cultura, visando aumentos no rendimento de grãos (Figura 10).

R _G	= $\frac{\text{Plantas/m}^2 \times \text{BPP} \times \text{GPEI} \times \text{PPQ}}{100}$	[11]
C ₁ , R _G	= $\frac{45.000 \times 1,1 \times 400 \times 330 \times 10^{-3}}{100}$	[111]
	= $\frac{27.300.000 \text{ grãos/m}^2 \times 330 \times 10^{-3} \text{ toneladas por grão}}{100}$	
	= 9.015 t/ha	
C ₂ , R _G	= $\frac{145.000 \times 1,1 \times 400 \times 330 \times 10^{-3}}{100}$	[111]
	= $\frac{12.700.000 \text{ grãos/m}^2 \times 330 \times 10^{-3} \text{ toneladas por grão}}{100}$	
	= 41.82 t/ha	
C ₃ , R _G	= $\frac{145.000 \times 1,1 \times 400 \times 330 \times 10^{-3}}{100}$	[111]
	= $\frac{12.700.000 \text{ grãos/m}^2 \times 330 \times 10^{-3} \text{ toneladas por grão}}{100}$	
	= 41.82 t/ha	
C ₄ , R _G	= $\frac{145.000 \times 1,1 \times 400 \times 330 \times 10^{-3}}{100}$	[111]
	= $\frac{12.700.000 \text{ grãos/m}^2 \times 330 \times 10^{-3} \text{ toneladas por grão}}{100}$	
	= 41.82 t/ha	

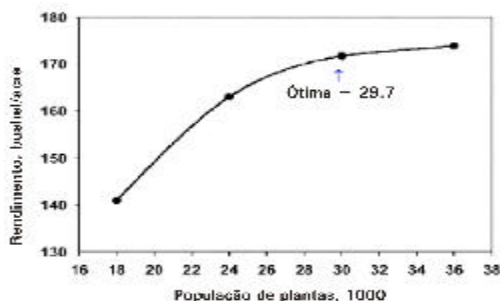


Figura 10. Resposta total do rendimento de milho (bushel por acre) para população de plantas. Dados são médias de cerca de 1.200 respostas (híbridos e locais) em 1999 e 2000. (Fonte: Nafziger, 2002)

Enchimento do Grão

Em média, o desenvolvimento do grão (enchimento do grão e maturação) completa-se cerca de 50 a 60 dias após a fertilização. Esse período pode variar entre cultivares e dentro de uma mesma cultivar; logicamente, os fatores ambientais também induzem pequenas variações.

Há um interesse acentuado em desenvolver cultivares que tenham a capacidade de 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 de a espiga (dreno) acomodar esses fotoassimilados. Portanto, os parâmetros limitantes responsáveis pelo crescimento dos grãos podem ser agrupados em: a) ritmo de enchimento; b) tempo de enchimento; c) capacidade do grão. A exportação de assimilados a partir das folhas (fonte) é controlada por diversos processos estruturais e bioquímicos interrelacionados, incluindo: taxa fotossintética, partição dos produtos iniciais da fotossíntese entre sacarose e amido, taxa de síntese de sacarose, demanda respiratória, compartimentação inter e intracelular da sacarose, transferência de sacarose entre os vários tipos de células e sua acumulação no interior do floema.

O descarregamento do floema ocorre através de diversas vias e mecanismos, em diferentes tipos de dreno. Em sistemas vegetativos (folhas e raízes) predomina uma via simplástica. Nesse caso, o movimento é promovido pelo metabolismo ou pela compartimentação dos assimilados.

Em drenos reprodutivos, a ausência de continuidade do simplasto entre os tecidos maternal e embriônico obriga o assimilado a entrar no apoplasto. Dependendo do tipo de dreno, a entrada subsequente para o interior do embrião pode ocorrer através de um carregador específico para a sacarose, ou um carregador para hexose, seguida da hidrólise da sacarose pela invertase. Existem diversos níveis de controle do processo de descarregamento, incluindo metabolismo, compartimentação, ação hormonal e a influência da turgescência na liberação do assimilado pelo floema e sua recuperação pelas células do dreno.

Tem-se verificado que a alocação e a partição de assimilados entre as porções da planta de produtividade útil e de produtividade biológica, excluída a anterior, são flexíveis e estão sob controle genético. Alterações na partição obtidas pelo melhoramento genético

têm levado a aumentos na produção. Os processos limitantes que determinam os limites superiores de produção devem incluir o descarregamento do floema e o metabolismo das células do dreno.

Grande importância têm merecido os aspectos relativos ao controle exercido por células e tecidos nos modelos de alocação dos assimilados durante o desenvolvimento da planta e dos determinantes da taxa de crescimento e da dimensão do dreno. Características estruturais de vários drenos têm sido determinadas, mas os mecanismos envolvidos ainda não foram totalmente esclarecidos. Além disso, as análises quantitativas do carbono, do nitrogênio e da economia de água através da planta estão constantemente fornecendo subsídios para a eventual modelagem do processo de suprimento e utilização de assimilados durante o desenvolvimento vegetal.

Algumas pesquisas têm sugerido que deveriam ser desenvolvidos milhos precoces para o florescimento e que permanecessem durante um período tão longo quanto possível para o enchimento de grãos. Tal sugestão é feita devido à forte associação que existe entre esse caráter e a produção de grãos. Variabilidade genética para esse caráter foi encontrada em inúmeros estudos.

Existe, ainda, uma forte associação entre a fase vegetativa e a fase de enchimento de grãos. Resultados experimentais apontam que híbridos tardios possuem um período de enchimento de grãos mais prolongado que o de híbridos precoces. Muitos dos genes que causam incremento no período de enchimento de grãos também incrementam a fase vegetativa, mas, como essa associação não é absoluta, é possível a obtenção de materiais com fase vegetativa reduzida e período prolongado de enchimento de grãos.

Fotossíntese

Fotossíntese é o processo através do qual organismos vivos clorofilados convertem a energia da luz em energia química de

moléculas orgânicas. O entendimento dos fluxos de CO_2 na fotossíntese tem permitido desvendar as três etapas básicas acopladas ao processo fotossintético. Os aspectos fotoquímicos, fotofísicos (de transferência eletrônica com a formação de ATP e NADPH) e bioquímicos da fixação de carbono em compostos da fotossíntese já foram elucidados; entretanto, os aspectos genéticos ainda não foram totalmente esclarecidos. Pesquisas estão sendo realizadas envolvendo dois processos biológicos básicos: a) a expressão da informação genética; b) a regulação da fotossíntese. A investigação da natureza genética da fotossíntese tem possibilitado o entendimento dos mecanismos moleculares da auto-organização e auto-reprodução dos cloroplastos, sua herança e variabilidade e a sua atividade funcional. A regulação da eficiência fotossintética através da genética é um importante meio de aumentar a produtividade das culturas, uma vez que esta é baixa, em torno de 1%, na sua maioria.

Altas produtividades têm sido proporcionadas pelo aumento da área foliar, alterações na relação fitomassa e órgãos reprodutivos e por outras alterações morfofisiológicas. O desenvolvimento de métodos para regulação da fotossíntese e aumento da sua eficiência na utilização da energia solar é o mais importante meio de obter altas produções. No entanto, a relação entre fotossíntese e produção é bastante complexa e, às vezes, contraditória. Isto se deve ao fato de que diversos fatores podem estar envolvidos, entre os quais pode-se citar a abertura estomática e a condutância de CO_2 no interior das células do mesófilo, idade e localização das folhas, deficiência hídrica e comportamentos diferentes em plantas, tipo de via para fixação do carbono (C_3 , C_4 ou intermediária), ou concentração de nitrogênio nas folhas.

Grande parte da matéria seca do milho (90%) provém da fixação de CO_2 , pelo processo da fotossíntese. O milho é uma planta de

metabolismo C_4 , que apresenta alta eficiência na utilização de luz e CO_2 . Portanto, uma das causas da queda de produtividade do 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 C_4 , existem duas características da planta de milho que diminuem o potencial de eficiência das folhas. A mais limitante é o hábito de crescimento, que proporciona um auto-sombreamento das folhas inferiores. A outra é a presença do pendão, o qual fica inativo logo após a fertilização, mas que chega a sombrear as plantas em até 19%, dependendo da cultivar.

Para se estabelecer uma cultura eficiente no campo, aproveitando ao máximo a energia radiante, atenção é requerida tanto na densidade de plantio quanto 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, enquanto que plantas mais baixas requerem fileiras mais estreitas que plantas mais altas, para uma eficiente interceptação da luz. Uma boa densidade populacional de planta (estande) representa um fator de rendimento, pois é a partir daí que se vai ter uma cultura com sucesso. O ideal é um plantio adequado para a obtenção de um estande final, na colheita, de 40 a 60 mil plantas/ha. Cultivares modernas estão disponíveis no mercado e respondem bem a densidades de 70 mil plantas/ha.

De acordo com Dwyer et al. (1991), a modernização dos sistemas de produção de milho tenderão a aumentar a densidade de planta para maximizar rendimento de grão. Em um desses estudos, quatro híbridos, nomeados de mais velho para mais recente, de acordo com o ano de lançamento no mercado (de 1958 a 1989), foram cultivados

nas densidades de 20 mil, 80 mil e 130 mil plantas/ha.

Os índices de área foliar (IAF) dos híbridos mais recentes tenderam a ser maiores do que dos híbridos mais velhos, em comparáveis densidades de plantas. As taxas fotossintéticas foliares diminuíram em todos os híbridos, de acordo com o aumento de densidades, mas o declínio ocorreu em mais baixos IAF nos híbridos velhos. Como resultado, a despeito dos mais altos IAF dos híbridos recentes, eles mostraram uma igual ou mais alta resposta fotossintética da folha para irradiância (RFI) em todas as densidades de planta. A mais alta RFI dos recentes híbridos foi correlacionada com as mais altas taxas de crescimento da cultura (TCC) e rendimentos de grãos. Esses resultados sugerem que aumentos na densidade ótima de planta para grão e aumentos no rendimento devem ser atribuídos, em parte, para mais alto RFI, a elevados IAF em recentes híbridos.

O conteúdo de CO_2 na atmosfera, 0,03% (300 ppm), é limitante; daí cresce a necessidade de as plantas de milho tornarem-se eficientes na fixação desse gás. O ponto de compensação do CO_2 é diferente para plantas C_3 e C_4 . No milho (C_4), é de 5 a 10 ppm, enquanto que, no feijão (C_3), é de 30 a 70 ppm. Ressalta-se que ponto de compensação é a intensidade de luz na qual fotossíntese equilibra com a respiração (ganho líquido de CO_2 é igual a zero). Somente acima do ponto de compensação ocorre ganho de peso de matéria seca. As plantas C_3 são aquelas cujo primeiro composto estável formado na fotossíntese possui três átomos de carbono (3PGA, ácido fosfoglicérico). A enzima Rubisco (Ribulose 1,5 difosfato carboxilase/oxigenase) é a responsável pela fixação de CO_2 em compostos orgânicos em plantas C_3 . Já as plantas C_4 são aquelas cujo primeiro produto estável formado na fotossíntese possui quatro átomos de carbono (OAA, ácido oxaloacético). Tanto C_3 quanto C_4 utilizam a

rota C_3 . O importante é que, nas plantas C_4 , a rota C_3 é precedida por passos adicionais, no quais há uma fixação preliminar de CO_2 através da enzima PEP-case (fosfoenol-piruvato carboxilase). Essa enzima, responsável pela fixação do CO_2 em plantas C_4 , é cerca de 100 vezes mais eficiente que a Rubisco.

Estudos com fixação do CO_2 em plantas tropicais (C_4) revelaram o propósito da rota C_4 . Plantas tropicais devem evitar perda excessiva de água por transpiração, o que conseguem fechando os estômatos, porém isto reduz o fluxo de CO_2 da atmosfera nas células das bainhas vasculares, causando uma diminuição na concentração de CO_2 .

Conseqüentemente, a atividade da enzima Rubisco fica prejudicada. No entanto, as reações da PEP-case no mesófilo foliar têm uma afinidade muito mais alta por CO_2 e, assim, fixa CO_2 mais eficientemente. Essa reação serve para fixar e concentrar CO_2 na forma de oxaloacetato. Outra razão que limita a eficiência das plantas C_3 com relação às de ciclo C_4 é a fotorrespiração, que usa o O_2 produzido e destina menos carbono aos produtos finais, aparentando ser um processo de desperdício. Fotorrespiração inibe a formação líquida de fitomassa por plantas C_3 em até 50%. Plantas de metabolismo C_3 perdem 20 a 25% do carbono fixado devido à fotorrespiração, enquanto que as plantas com fotossíntese C_4 não mostram liberação mensurável de CO_2 à luz. Fotossíntese líquida das plantas C_4 , como o milho, assume valores de 50 a 70 mg CO_2 dm⁻² de folha h⁻¹, enquanto as plantas C_3 fixam CO_2 a taxas muito mais baixas (15 a 35 mg CO_2 dm⁻² h⁻¹).

Fotossíntese pode ser medida diretamente pela absorção de CO_2 ou a evolução de O_2 . Embora tais medidas sejam importantes, informações sobre performance fotossintética não podem ser facilmente obtidas apenas pelas medidas de trocas gasosas. Medidas da fluorescência da clorofila têm-se apresentado como uma importante técnica em estudos fisiológicos de ecologia de plantas. O

rendimento da fluorescência da clorofila revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e tem-se constituído em potente ferramenta de *screening* para tolerância de plantas de milho a condições adversas, principalmente sob estresse hídrico (seca e encharcamento), eficientes para nitrogênio e fósforo e tolerantes a alumínio (Durães et al., 2002).

Fisiologia e Biotecnologia no Melhoramento Genético do Milho

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, abriram-se o campo da biotecnologia vegetal, que teve início com o aparecimento de propagação de plantas em cultura de tecido. Essa tecnologia é usada na multiplicação de plantas em larga escala (eucalipto, orquídeas, crisântemo, dendê, tamareira, morango, batata, bananeira, etc), no manejo e conservação de germoplasma (alho, batata, mandioca, batata-doce, cará, inhame), na transferência de genes de uma espécie silvestre para uma cultivar-elite (eliminando barreiras de incompatibilidade genética), na obtenção de plantas haplóides, e na eliminação de doenças através do cultivo "*in vitro*" de meristemas.

A segunda fase da biotecnologia, meados dos anos 80, surgiu com o advento dos marcadores moleculares. Essa tecnologia permite a identificação de regiões, no genoma de plantas, responsáveis por importantes características agronômicas e sua rápida transferência para outros genótipos. Além disso, marcadores moleculares podem servir como apoio na identificação de grupos heteróticos e na proteção legal de cultivares.

A terceira fase da biotecnologia vegetal veio com o advento das plantas transgênicas. Melhoristas de plantas dependem de variabilidade genética existente na natureza

como matéria-prima para o desenvolvimento de cultivares melhoradas. O advento da tecnologia de DNA recombinante e a possibilidade de se transformar plantas dão ao melhorista acesso a um novo e variado “pool” de genes, possibilitando a transferência de caracteres além dos limites permitidos pelo melhoramento tradicional. Dessa forma, o desenvolvimento de cultivares cada vez mais produtivas e adaptadas às mais diversas condições de cultivo, que têm sido tradicionalmente obtidas através do melhoramento genético tradicional, pode ser dramaticamente acelerado com a utilização de técnicas de mapeamento, manipulação gênica e transformação.

Atualmente, os principais avanços com o milho e com uma série de outros organismos por biotecnologia têm sido alcançados devido ao seqüenciamento de genes, forte ferramenta da genética “reversa”, ou seja, do conhecimento da seqüência do gene à identificação da característica a qual esteja relacionada. Da moderna Biotecnologia (clonagem, xenotransplantes, testes genéticos, prospecção gênica), o que tem causado maior polêmica são os chamados organismos geneticamente modificados (OGM's).

A rápida adoção das plantas geneticamente modificadas pelos agricultores deve-se principalmente ao fato de que elas proporcionam uma maior flexibilidade no manejo da cultura, redução na quantidade de defensivos agrícolas utilizados (herbicidas, inseticidas), maior produtividade por área e maior retorno econômico. Na primeira geração de plantas transgênicas, as modificações foram realizadas em características agrônomicas simples controladas por um único gene. As novas gerações estão sendo relacionadas com modificações na qualidade nutritiva, obtenção de produtos intermediários de interesse à saúde humana e animal, biocombustíveis, etc. A despeito desses inegáveis avanços técnico-científicos,

segmentos importantes da população em geral e a mídia, especializados ou não, tem apresentado questões significativas quanto a riscos e/ou benefícios de produtos OGM's para a saúde humana e para o meio ambiente.

Literatura Citada

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. Modern corn production. **2.ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371 p.**
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; FRUGONE, M. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. *Crop Science, Madison, v.33, p.482-485, 1993a.*
- ANDRADE, F. H.; UHART, S. A.; CIRILO, A. G. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research, Amsterdam, v.32, p.17-25, 1993b.*
- ANDRADE, F. H.; VEGA, C. R.; UHART, S. A.; CIRILO, A. G.; CANTARERO, M. G.; VALENTINUZ OSCAR. Kernel number determination in maize. *Crop Science, Madison. v.39, p. 453-459, 1999.*
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. de. **Seja doutor do milho: nutrição e adubação.** Informacoes Agronomicas, Piracicaba, n.71, set. 1995. Arquivo do Agronomo, Piracicaba, n.2, p.1-9, set. 1995. Encarte.
- CONAB. Política agrícola. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/politica_agricola/Safra/Quadro16.xls > Acesso em : 20 jul. 2002).
- CONAB. Política agrícola. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/politica_agricola/Safra/Quadro17.xls > Acesso em: 20 jul.2002.
- CONWAY, G.; TOENNIESSEN, G. Feeding the world in the twenty-fifty century. *Nature*, London, v. 402, p.55-58, 1999. Suplemento.
- DELVIN, R.M. Water relations. In: DELVIN, R.M. Plant physiology. **3 ed. New York: D.van Mostrand, 1975. p.43-86.**
- DURÃES, F.O.M.; GAMA, E.E.G.; MAGALHÃES, P.C.; MARIEL, I.E.; CASELA, C.R.; OLIVEIRA, A.C.; LUCHIARI JR., A.; SHANAHAN, J.F. The usefulness of chlorophyll fluorescence in screening for water, N use efficiency, Al toxicity, and disease in maize. In: EASTERN AND SOUTHERN AFRICA MAIZE CONFERENCE, 7.; SYMPOSIUM ON LOW-NITROGEN AND DROUGHT TOLERANCE IN MAIZE. 2002, Nairobi. [Abstracts and Proceedings] Mexico: CIMMYT, 2002.

DWYER, L.M.; TOLLENAAR, M.; STEWART, D.W. Changes in plant density dependence of leaf photosynthesis of maize (*Zea mays* L.) hybrids, 1959 to 1988. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.71, p.1-11 Jan. 1991.

ECHARTE, L. et al. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 68, p. 1-8, 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

GLOVER, D.V.; MERTZ, E.T. Corn. In: OLSON, R.A.; FREY, K.L. (Ed.). **Nutritional quality of cereal grains**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p.183-336.
KINIRY, J.R.; RITCHIE, J. T. Shade-sensitive interval of kernel number of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 711-715, 1985.

KLAR, .S.R. Transpiração. In: KLAR, .S.R. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. p. 347-385.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados sobre os teores de carboidratos e nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.12, p.1755-1761, 1990a.

MAGALHÃES, P.C.; JONES, R. Aumento de fotoassimilados na taxa de crescimento e peso final dos grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.25, n.12 p.1747-1754, 1990b.

MAGALHÃES, P.C.; RESENDE, M.; OLIVEIRA, A. C. de; DURÃES, F.O.M.; SANS, L. M. A. Caracterização morfológica de milho de diferentes ciclos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994, Goiânia. **Centro Oeste-cinturão do milho e do sorgo no Brasil**: resumos. Goiânia, ABMS, 1994. p. 190.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, A. C. de. Efeitos do quebramento do colmo no rendimento de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 279-289, jul/set. 1998.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; OLIVEIRA, A. C. de.; GAMA, E. E. G. Efeitos de diferentes técnicas de despendoamento na produção de milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 77-82 jan/mar. 1999.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.O.M.; PAIVA, E. Fisiologia da planta de milho. **Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p.** (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 20).

OTEGUI, M. E. ; R. BONHOMME. 1998. Grain yield components in maize. I. Ear growth and kernel set. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.56, p.247-256, 1998.

NAFZIGER, E. Getting plant population right. In: UNIVERSITY OF ILLINOIS CORN AND SOYBEAN CLASSIC MEETING, 2002. [Proceedings...] [Champaign]: Department of Crop Sciences/University of Illinois, 2002. Disponível em : < <http://cropsci.uiuc.edu/classic/2002/Article7/index.htm> > Acesso em: 20 jul. 2002

RICHARDS, R.A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford. v. 51, p. 447-458, 2000.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. How a corn plant develops. **Ames: Iowa State University of Science and Technology/ Cooperative Extension Service, 1989. (Special Report, 48)**

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. The Photosynthesis-transpiration compromise. In: CAREY, J.C. (Ed.). **Plant physiology**, 2 ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1982. p. 32-46.

WANG, G.; KANG, M.S.; MORENO, O. Genetic analyses of grain-filling rate and duration in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 211-222, 1999.

Circular Técnica, 22



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 - Caixa Postal 151
Fone: (31) 3779-1000
Fax: (31) 3779-1088
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2003): 200 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Ivan Cruz
Secretário-Executivo: Frederico Ozanan M. Durães
Membros: Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da Silva, Carlos Roberto Casela, Fernando Tavares Fernandes e Paulo Afonso Viana

Expediente

Supervisor editorial: José Heitor Vasconcellos
Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Tratamento das ilustrações: Tânia Mara A. Barbosa
Editoração eletrônica: Tânia Mara A. Barbosa