

Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos em milho⁽¹⁾

Agostinho Dirceu Didonet⁽²⁾, Osmar Rodrigues⁽³⁾, Justino Luiz Mario⁽⁴⁾ e Francisco Ide⁽⁴⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da radiação solar e da temperatura entre a emergência e o pendoamento na taxa de crescimento da cultura, no número de grãos por unidade de taxa de crescimento, e nas relações dessas variáveis com o rendimento final de grãos de híbridos de milho. Os ensaios foram conduzidos nos anos agrícolas de 1994/95, 1995/96 e 1996/97 com os híbridos comerciais C-901, XL-560 e XL-678, em 1994/95, e os híbridos C-901, XL-212 e XL-370, nos outros anos. Os tratamentos consistiram em diferentes datas de plantio de setembro a dezembro, em 1994/95, e de agosto a dezembro, em 1995/96 e 1996/97. No período entre emergência e espigamento, as plantas acumularam maior quantidade de massa seca quando a radiação solar incidente foi mais elevada. No entanto, como a temperatura média do ar exerce efeito na duração do período, a taxa de crescimento foi mais dependente da temperatura do que da radiação. Também neste período, o efeito da temperatura foi inversamente proporcional ao do número de grãos por unidade de taxa de crescimento, possivelmente por causa do maior tempo disponível para interceptar a radiação solar. Decorrente da associação entre temperatura e radiação, o coeficiente fototérmico foi positivamente associado ao rendimento de grãos.

Termos para indexação: *Zea mays*, taxa de crescimento, rendimento de grãos.

Effect of solar radiation and temperature on grain number definition in maize

Abstract – The objective of this experiment was to study the effect of solar radiation and temperature regime between emergence and silking on the crop development rate and the number of grain per growing rate unit of the crop, and the relationships of such parameters with the grain yield of corn hybrids. The experiments were carried out in the years 1994/95 to 1996/97, using the commercial hybrids C-901, XL-560, and XL-678 in 1994/95 and the hybrids C-901, XL-212, and XL-370 in the remaining years. The treatments consisted of sowing dates from September to December, in 1994/95, and from August to December, in 1995/96 and 1996/97. High dry matter accumulation was observed when there was high incidence of solar radiation during the period between emergence and flowering. However, as the mean air temperature exerts effect on the duration of that period, the growth rate during such period was more associated to temperature than to solar radiation. The effect of the temperature was inversely proportional to the number of grains per unit of growing rate in this period, possibly due to the longer time for solar radiation interception. As a result of the association between temperature and radiation, the photothermal coefficient was positively associated with the grain yield.

Index terms: *Zea mays*, crop growth rate, grain yield.

Introdução

O rendimento de grãos em milho é determinado basicamente pelo número de grãos por unidade de área, e, em menor escala, pela massa individual do grão (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 da planta no período de pendoamento (Tollenaar &

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 16 de novembro de 2001.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: didonet@cnptf.embrapa.br

⁽³⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, Caixa Postal 451, CEP 99010-970 Passo Fundo, RS. E-mail: osmar@cnptf.embrapa.br

⁽⁴⁾ Braskalb Agropecuária Brasileira Ltda., Rua Benjamin Constant, 630 ap. 503, Centro, CEP 99010-130 Passo Fundo, RS. E-mail: justino.l.mario@monsanto.com, ide@monsanto.com

Daynard, 1978; Aluko & Fischer, 1988; Andrade et al., 1999). Esse período, considerado crítico para a determinação do número de grãos, é também o mais suscetível às condições de estresse (Kiniry & Ritchie, 1985; Cirilo & Andrade, 1994a).

A taxa de crescimento da 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 (Tollenaar et al., 1992; Andrade et al., 1999). Assim, a eficiência de uso da radiação interceptada, as condições de temperatura e o status fisiológico da cultura nesse período determinarão as taxas de crescimento dela, o número potencial de grãos, e, conseqüentemente, o potencial produtivo da planta (Andrade et al., 1993a, 1993b; Otegui & Bonhomme, 1998).

Enquanto alguns autores (Kiniry et al., 1997) constataram relação linear entre número de grãos por planta e a taxa de crescimento da planta, outros (Andrade et al., 1999) não encontraram esse mesmo comportamento entre essas duas variáveis. Tais diferenças são explicadas pelo efeito diferenciado na partição de biomassa 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).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da radiação solar e da temperatura na taxa de crescimento da cultura no período entre a emergência e o pendoamento, no número de grãos por unidade de taxa de crescimento, e na relação dessas variáveis com o rendimento final de grãos de diferentes híbridos de milho.

Material e Métodos

Os ensaios foram realizados no campo experimental da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, localizada no Município de Coxilha, RS (28°15' S, 52°24' W e altitude de 687 m), durante os anos agrícolas de 1994/95,

1995/96 e 1996/97. Sempre que necessário, houve suprimento de água através de irrigações, e as condições de fertilidade não foram limitantes. Aplicaram-se 250 kg ha⁻¹ da fórmula 5-30-12 (NPK), e, em cobertura, 60 kg ha⁻¹ de N logo após a emergência e 60 kg ha⁻¹ quando as plantas apresentavam seis a oito folhas. No ano de 1994/95, foram utilizados os híbridos comerciais C-901, XL-560 e XL-678 em quatro épocas de semeadura, com emergência (50% dos coleóptilos visíveis) em 18 de setembro, 13 de outubro, 11 de novembro e 12 de dezembro. Em 1995/96 e 1996/97, usaram-se os híbridos comerciais C-901, XL-212 e XL-370 em cinco épocas de semeadura, com emergência em 1º de setembro, 2 de outubro, 27 de outubro, 21 de novembro e 19 de dezembro, no ano de 1995/96, e em 29 de agosto, 29 de setembro, 4 de novembro, 26 de novembro e 22 de dezembro, em 1996/97. Todas as semeaduras foram efetuadas em sistema de plantio direto, com densidade de 6,25 plantas m⁻². Os experimentos foram delineados em blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 6 linhas de 10,0 m de comprimento com espaçamento de 0,80 m entre as linhas.

Os dados meteorológicos foram obtidos do posto meteorológico da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, localizado a cerca de 10 km do local do ensaio. O acúmulo de biomassa da parte aérea no espigamento (50% das espigas da área útil da parcela com estigmas visíveis) e na maturação fisiológica (aparecimento da “capa-preta” em 50% dos grãos da parte mediana das espigas) foi determinado em amostras de 10 plantas/parcela secadas em estufa a 60°C, sob ventilação forçada, até a obtenção de peso constante. Os números de sementes por espiga, sementes por unidade de área e massa seca final da semente foram determinados em amostragem efetuada na maturação fisiológica. O rendimento de grãos, corrigido para 13% de umidade, foi determinado em área útil correspondente a duas linhas centrais de 8 m de comprimento, totalizando 12,8 m².

O número de grãos por unidade de área (grãos m⁻²) e a taxa de crescimento da cultura, determinada desde a emergência até o espigamento (g m⁻² dia⁻¹), foram utilizados para calcular o número de grãos por unidade de taxa de crescimento (dia g⁻¹) (Echarte et al., 2000). O coeficiente fototérmico foi calculado com base na radiação solar global média incidente (MJ m⁻² dia⁻¹) no período compreendido entre emergência e espigamento, e na temperatura média do ar no mesmo período. Análises de regressão e correlação foram usadas para estudar a associação entre rendimento de grãos e as diversas variáveis.

Resultados e Discussão

Os maiores e os menores rendimentos de grãos foram obtidos em plantios realizados no mês de outubro e dezembro, respectivamente (Tabela 1). Em geral, verificou-se aumento no rendimento de grãos em plantios efetuados de agosto até outubro, e queda de rendimento em plantios efetuados a partir de novembro. Tanto a radiação incidente quanto a temperatura média do ar, determinadas no período entre emergência e espigamento, aumentaram a partir de plantios efetuados de agosto a novembro, e permaneceram estáveis daí em diante. Como era de se esperar, não houve relação direta entre a radiação solar incidente nesse período e o rendimento de grãos, e nem entre a temperatura média do ar e o rendimento, uma vez que, nesse período, as plantas acumularam essencialmente toda a biomassa nas estruturas vegetativas. Portanto, houve relação positiva somente entre a radiação incidente e a taxa de crescimento da cultura nesse período ($r = 0,69$, $p < 0,001$); isto indica que as plantas acumularam maior quantidade de massa seca quando a radiação solar incidente foi mais elevada (Figura 1). No entanto, como a temperatura média do ar exerce efeito na duração do período, a taxa de crescimento

nesse período foi mais dependente da temperatura ($r = 0,80$, $p < 0,001$) do que da radiação incidente. Tal relação pode provocar menor disponibilidade de fotoassimilados para a cultura no momento da antese, uma vez que temperaturas elevadas diminuem o tempo de realização de fotossíntese, e resultam em menor número de grãos (Tollenaar, 1977).

Por outro lado, quando os efeitos da radiação e da temperatura foram considerados conjuntamente, houve associação positiva ($r = 0,61$, $p < 0,001$) entre o coeficiente fototérmico ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) calculado

Tabela 1. Rendimento médio de grãos (kg ha^{-1}) de híbridos de milho em diferentes épocas de semeadura, durante os anos de 1994/95 (híbridos C-901, XL-560 e XL-678), 1995/96 e 1996/97 (híbridos C-901, XL-212, XL-370)⁽¹⁾.

Data da semeadura	Rendimento de grãos
1994/95	
4/9	7.739c
6/10	9.644a
11/11	8.424b
7/12	5.340d
1995/96	
21/8	9.827ab
15/9	10.510a
16/10	10.513a
13/11	9.198bc
13/12	8.425c
1996/97	
15/8	8.115b
18/9	8.943ab
28/10	9.388a
19/11	8.554ab
16/12	6.418c

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

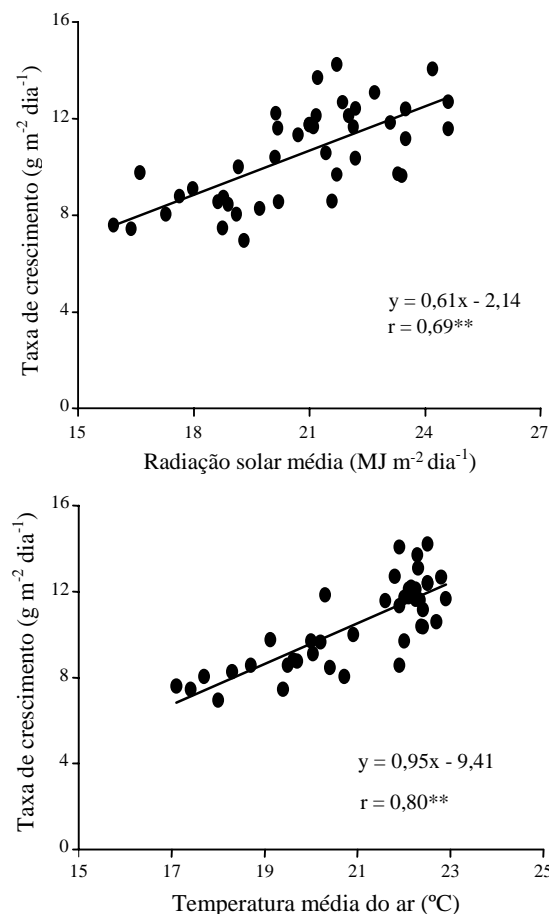


Figura 1. Associação da radiação solar global total média incidente e da temperatura média do ar com a taxa de crescimento da cultura, no período compreendido entre a emergência e o espigamento dos híbridos de milho (C-901, XL-560 e XL-678, em 1994/95; C-901, XL-212 e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97), em diferentes épocas de semeadura. Cada ponto representa a média de três repetições em cada época de semeadura.

desde a emergência até o espigamento, e o rendimento de grãos (Figura 2), e os maiores rendimentos foram obtidos em plantios que coincidiram com o coeficiente fototérmico maior. Essa associação, observada até essa fase de desenvolvimento da planta, indica que a importância desse período está na definição do número de grãos por unidade de área. Tal efeito é resultante da maior ou menor taxa de crescimento, de maneira que, quanto maior o número de grãos definido por unidade de taxa de crescimento, maior será o rendimento final de grãos ($r = 0,56$ $p < 0,001$). Em densidades subótimas, nem sempre há uma relação direta entre a capacidade de aumentar o número de grãos em resposta a um aumento na taxa de crescimento da cultura (Cox, 1996; Andrade et al., 1999; Echarte et al., 2000).

A temperatura atua de forma inversamente proporcional ao número de grãos definidos por unidade de taxa de crescimento ($r = 0,65$ $p < 0,001$, Figura 3), o que caracteriza plantios mais precoces (temperaturas mais amenas) como reprodutivos, em comparação a plantios mais tardios (temperaturas mais elevadas), considerados como vegetativos (Cirilo & Andrade, 1994a). Como a taxa de crescimento aumenta de acordo com o aumento da temperatura,

espera-se que em temperaturas mais elevadas as plantas acumulem mais massa seca do que em temperaturas mais amenas por ocasião do espigamento (Cirilo & Andrade, 1994b). Em temperaturas inferiores a 20°C, caso de plantios mais precoces, há redução na eficiência com que a cultura de milho converte radiação solar em biomassa (Andrade et al., 1993a). Esse fato faz com que o número de grãos determinado por unidade de taxa de crescimento em plantios mais precoces seja maior do que em plantios mais tardios, possivelmente devido ao maior tempo disponível para interceptar a radiação solar (Muchow et al., 1990). Apesar de, nas semeaduras mais tardias, ocorrer maior taxa de crescimento e maior biomassa acumulada no espigamento, em comparação com plantios mais precoces, as plantas são menos eficientes em transformar a massa acumulada até o espigamento em maior número de grãos (Kiniry et al., 1989; Andrade et al., 1993b). Dessa maneira, a maior produtividade de milho em regiões temperadas será obtida quando ocorrerem elevada radiação solar incidente, e sob temperaturas médias amenas, desde que não ocorram outras limitações. Como consequência, pode-se estimar o potencial de rendimento de grãos sob determinadas condições de radiação e temperatura, tornando a aplicação de insumos na cultura mais eficiente e racional.

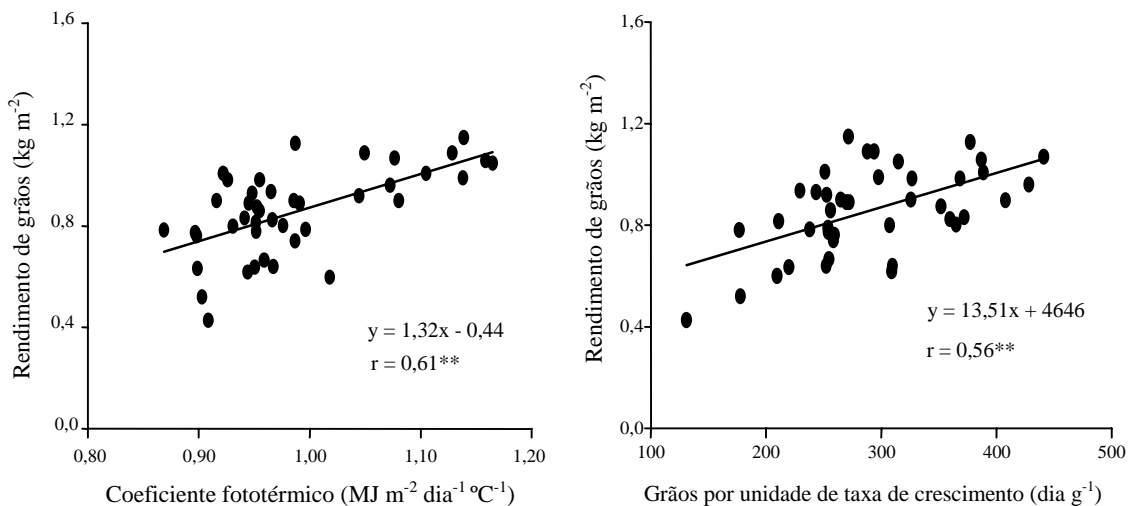


Figura 2. Relação do coeficiente fototérmico e do número de grãos por unidade de taxa de crescimento da cultura com o rendimento de grãos, no período compreendido entre a emergência e o espigamento dos híbridos de milho (C-901, XL-560 e XL-678, em 1994/95; C-901, XL-212 e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97), em diferentes épocas de semeadura. Cada ponto representa a média de três repetições em cada época de semeadura.

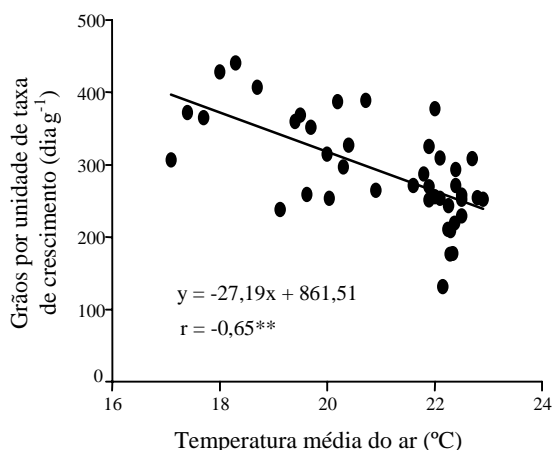


Figura 3. Relação entre temperatura média do ar e o número de grãos por unidade de taxa de crescimento da cultura, calculada no período compreendido entre a emergência e o espigamento dos híbridos de milho (C-901, XL-560 e XL-678, em 1994/95; C-901, XL-212 e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97), em diferentes épocas de semeadura. Cada ponto representa dados médios de três repetições em cada época de semeadura.

Conclusões

1. As semeaduras precoces de milho acumulam menos biomassa até o espigamento, porém determinam maior número de grãos por unidade de biomassa acumulada, em relação às semeaduras tardias.

2. O número de grãos e a produtividade do milho são determinados pela temperatura e pela radiação solar global incidentes até o espigamento.

3. A maior produtividade de milho é obtida em épocas de semeadura em que ocorrem as maiores relações possíveis entre a radiação solar e as temperaturas incidentes até o espigamento.

Referências

- ALUKO, G. K.; FISCHER, K. S. The effect of changes of assimilate supply around flowering on grain sink size and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars of tropical and temperate adaptation. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 39, p. 153-161, 1988.
- ANDRADE, F. H.; UHART, S. A.; CIRILO, A. G. Temperature effects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 32, p. 17-25, 1993a.
- 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, 1993b.
- ANDRADE, F. H.; VEJA, C.; UHART, S.; CIRILO, A.; CANTARERO, M.; VALENTINUZ, O. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 453-459, 1999.
- CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Sowing date and maize productivity. I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1039-1043, 1994a.
- CIRILO, A. G.; ANDRADE, F. H. Sowing date and maize productivity. II. Kernel number determination. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 1044-1046, 1994b.
- COX, W. J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 489-496, 1996.
- ECHARTE, L.; LUQUE, S.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O.; CIRILO, A.; OTEGUI, M. E.; VEJA, C. R. C. 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.
- KINIRY, J. R.; JONES, C. A.; O'TOOLE, J. C.; BLANCHET, R.; CABELGUENE, M.; SPANEL, D. A. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 20, p. 51-64, 1989.
- KINIRY, J. R.; RITCHIE, J. T. Shade-sensitive interval of kernel number of maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 711-715, 1985.
- KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R.; VANDERLIP, R. L.; ATWOOD, J. D.; REICOSKY, D. C.; MULLIKEN, J.; COX, W. J.; MASCAGNI, H. J.; HOLLINGER, S. E.; WIEBOLD, W. J. Evaluation of two maize models for nine U. S. locations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 421-426, 1997.
- MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R.; BENNETT, J. M. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 338-343, 1990.
- OTEGUI, M. E.; BONHOMME, R. Grain yield components in maize. I. Ear growth and kernel set. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 56, p. 247-256, 1998.

- 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.
- TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize: a review. **Maydica**, Bergamo, v. 22, p. 49-75, 1977.
- TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T. B. Relationship between assimilate source and reproductive sink in maize grown in a short-season environment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 219-223, 1978.
- TOLLENAAR, M.; DWYER, L. M.; STEWART, D. W. Ear and kernel formation in maize hybrids representing three decades of grain yield improvement in Ontario. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 432-438, 1992.
- 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.