

Crescimento e desenvolvimento de milho: efeito da temperatura na duração e na taxa de crescimento de grãos¹,



Osmar Rodrigues², Agostinho Dirceu Didonet³

Passo Fundo, RS

2003

Resumo. Em regiões de clima temperado, o período de enchimento de grãos de milho é dependente das diferentes temperaturas que estão relacionadas com a época de semeadura. Assim, estudar o efeito de diferentes épocas de semeadura na taxa e na duração do

¹ Trabalho publicado na íntegra no ano de 2000, na forma impressa, como segue: RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D. Crescimento e desenvolvimento de milho: efeito da temperatura na duração e na taxa de crescimento de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 40 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa, 7).

² Eng. -Agr., M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), Cx.P. 451, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: osmar@cnpt.embrapa.br

³ Eng. -Agr., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPaf), Cx.P. 179, CEP 74001-970 Goiânia, GO. E-mail: didonet@cnpaf.embrapa.br

enchimento de grãos e entender como esses fatores determinam o peso final de grãos de diferentes híbridos de milho foram objetivos deste trabalho. Para tanto, experimentos foram instalados em condições de campo nos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97, usando-se 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 semeadura, de setembro a dezembro, em 1994/95, e de agosto a dezembro, nos demais anos. A taxa efetiva de enchimento de grãos foi diretamente proporcional à temperatura média do ar, tendo sido maior nas semeaduras mais precoces, resultando em grãos mais pesados do que os obtidos em semeaduras mais tardias. Nestes, a menor temperatura do ar durante o período efetivo de enchimento de grãos propiciou menor taxa de enchimento de grãos, atuante por menor tempo, tornando mais leves os grãos. São discutidas, também, as possíveis causas que poderiam estar limitando o número de grãos determinados em plantios mais tardios.

Growth and development of corn: effect of temperature on grain-filling duration and kernel growth rate

Abstract. In temperate regions, corn grain-filling period depends on the different temperatures occurring throughout the seeding dates. Therefore, the objective of this work was to study the effect of different seeding dates on kernel growth rate and grain-filling duration and how the final grain weight of a number of corn hybrids is determined by such factors. For such purpose, field experiments were set up in 1994/95, 1995/96, and 1996/97 using 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. Treatments consisted of different seeding dates from September to December, in 1994/95, and from August to December, in the remaining years. The grain-filling rate depended directly on the mean air temperature and was higher in earlier sowing dates, resulting in heavier grains, as compared to the ones obtained in later sowings. In the late sowing dates lower air temperature during grain-filling period resulted in a lower kernel growth rate, prevailing over a shorter time interval and producing lighter grains. Factors that could possibly be limiting the number of grains determined in late sowings are also discussed.

Introdução

A produtividade de milho depende do número de grãos por unidade de área e da quantidade de fotoassimilados disponíveis para esses grãos. É variável entre os diferentes híbridos ou cultivares e é influenciada por fatores de ambiente que predominam no período em torno da fertilização. Nesse período crítico, deficiência hídrica, deficiência nutricional, elevado número de dias nublados (baixa disponibilidade de radiação solar), sombreamento devido as altas populações podem provocar abortamento de grãos, mesmo após fertilizados, reduzindo o número de grãos.

O número potencial de óvulos (grãos) por espiga é determinado quando as plantas atingem 10 a 12 folhas com o colar visível, muito antes do espigamento, momento em que se estabelece o número real de grãos por espiga. Nesse período, sob ausência de deficiência hídrica e nutricional, os principais fatores que condicionam o número de grãos são interceptação de radiação solar e temperatura do ar. Assim, para se obter o máximo número de grãos por unidade de área, em determinada densidade de plantas, é recomendável fazer com que o pendoamento ocorra nos dias mais longos do ano, de modo a coincidir a máxima área foliar de plantas com a maior disponibilidade de radiação solar. A densidade adequada de plantas para tal é variável, dependendo da época de plantio e do híbrido, além do nível de adoção de tecnologia. Em geral, recomendam-se menores densidades, cerca de 20 a 30 mil plantas/ha, para híbridos de ciclo mais longo em áreas com maior probabilidade de deficiência hídrica, e até cerca de 60 a 70 mil plantas/ha, para híbridos de ciclo precoce e superprecoce em lavouras irrigadas sob alto nível de manejo (Rio Grande do Sul...,1999).

No Rio Grande do Sul, onde aproximadamente 50% da área cultivada com milho está sob plantio direto e rotação de culturas (Rodrigues et al., 1998), torna-se necessário manejar a época de plantio e, por conseqüência, a densidade de plantas. Dados preliminares da Embrapa Trigo indicaram que, em plantios do cedo, é possível aumentar significativamente a densidade de plantas, uma vez que há suficiente disponibilidade de radiação solar, em virtude do máximo de área foliar da cultura nas densidades atualmente recomendadas. Dessa forma, seria possível aumentar a produtividade da cultura, mesmo que o período em que as plantas atingem o máximo de área foliar não seja coincidente com os dias mais longos do ano. Assim, essa busca do potencial de rendimento da cultura dentro do sistema de produção faz com que as fases de desenvolvimento de plantas ocorram em temperaturas diferentes, em comparação a plantios em épocas normais. No período de enchimento de grãos, a temperatura é um dos principais fatores de ambiente que pode afetar o rendimento de grãos em milho, através de seu efeito na duração e na taxa de acúmulo de massa seca pelos grãos, refletindo diretamente no rendimento final de grãos. Normalmente, o aumento da temperatura provoca aumento na taxa de crescimento e diminuição na

duração do período em que os grãos permanecem acumulando massa seca (Muchow, 1990), tendo reflexos no peso final de grãos.

Em condições de campo, quando o crescimento vegetativo ocorre em temperaturas mais amenas, típico de plantios precoces em regiões de clima temperado, o crescimento de grãos experimenta altas temperaturas durante a fase de acumulação de massa seca. Nessa situação, a taxa efetiva de crescimento de grãos é elevada e atuante por tempo menor. Assim, mesmo que o período efetivo de enchimento dos grãos seja menor, a alta taxa de acumulação de massa seca pelos grãos pode proporcionar grãos mais pesados, desde que haja assimilados disponíveis em quantidade suficiente. Ao contrário, se a acumulação de massa seca nos grãos ocorre quando as temperaturas estão em declínio, ou seja, em plantios mais tardios, a taxa de crescimento efetiva do grão é menor, porém pode atuar por um período efetivo maior, desde que não haja limitação no suprimento de fotoassimilados. Na verdade, a capacidade dos grãos (dreno) em alocar e utilizar os fotoassimilados produzidos (fonte) e as inter-relações entre esses fatores determinam o potencial de rendimento da cultura de milho (Magalhães e Jones, 1990a; Magalhães e Jones, 1990b).

Vários autores afirmam que o rendimento de grãos de milho é limitado, principalmente, pela capacidade de suprimento de assimilados da fonte produtora (Tollenaar e Daynard, 1978; Schoper et al., 1982), enquanto outros consideram a capacidade dos grãos em armazenar os fotoassimilados disponíveis como causa limitante ao rendimento de grãos (Magalhães e Jones, 1990a; Magalhães e Jones, 1990b). Segundo esses últimos autores, a limitação dos grãos em acumular biomassa poderia estar ligada ao potencial genético da planta em estabelecer quantidade de drenos reprodutivos. Considerando que o número de grãos está estreitamente relacionado ao rendimento final de grãos de milho (Cirilo e Andrade, 1994b), condições desfavoráveis de ambiente durante o crescimento de grãos podem causar abortamento destes (Jacobs e Pearson, 1991). A diminuição do número de grãos resulta em redução da capacidade dos drenos em mobilizar fotoassimilados.

Durante o crescimento de grãos, que genericamente situa-se entre a fertilização e a maturação fisiológica, há uma fase linear, após uma fase "lag", que se estende até imediatamente antes da maturação fisiológica, em que mais de 90 % da massa seca do grão é acumulada (Johnson e Tanner, 1972; Tollenaar, 1977). Nesse período de intenso acúmulo de massa seca, tanto a translocação dos fotoassimilados pré-existentes, quanto a fotossíntese corrente contribuem cada uma com percentuais diferentes para aumento de massa seca do grão. A contribuição percentual de fotoassimilados de cada uma dessas fontes (partição), para o acúmulo de massa seca total do grão, é afetada pela quantidade de radiação interceptada, pela taxa de crescimento da cultura no florescimento e pelo tempo em que os grãos permanecem acumulando massa seca (Grant, 1989; Aluko e Fischer, 1988; Tollenaar,

1977; Cirilo e Andrade, 1994). Por exemplo, a diminuição progressiva da temperatura após o pendoamento aumenta o período efetivo de crescimento de grãos, reduzindo a taxa de crescimento e o peso final de grãos (Ouattar et al., 1987; Jones et al., 1985), situação típica de plantios efetuados em épocas mais tardias (Cirilo e Andrade, 1994; 1994a e 1996). Esses últimos autores concluíram ainda que, em plantios tardios, há um favorecimento do crescimento vegetativo, em comparação com o crescimento das estruturas reprodutivas, situação que origina grãos mais leves e em menor número do que em plantios efetuados mais precocemente.

Densidades de plantas acima e abaixo de um ótimo têm efeito negativo na eficiência com a qual a cultura converte radiação interceptada em massa seca de grãos (Andrade et al., 1993a). Cabe destacar que a densidade ótima de plantas é aquela que apresenta uma área máxima de interceptação de radiação (área foliar máxima) sem provocar auto-sombreamento e, ao mesmo tempo, é capaz de captar toda a energia disponível. Em ensaios de sombreamento artificial durante o crescimento de grãos, portanto limitando a interceptação de radiação e o suprimento de assimilados, não houve alterações na taxa de crescimento de grãos, mas observou-se redução no tempo de crescimento, resultando em grãos mais leves (Tollenaar, 1977; Setter e Flannigan, 1986). Esse efeito do sombreamento artificial simula, na realidade, uma limitação ao rendimento de grãos pela fonte produtora de assimilados, típica de plantios efetuados com densidade acima do ótimo, principalmente em épocas mais tardias, nas quais o crescimento vegetativo é estimulado.

Estudar o efeito de diferentes épocas de semeadura na taxa e na duração de crescimento de grãos e entender de que maneira a temperatura afeta esses processos que ocorrem durante o período de crescimento de grãos, foram os propósitos do presente estudo. O conhecimento desses fatores pode proporcionar o desenvolvimento de estratégias de manejo para obtenção do potencial máximo de rendimento dentro do sistema de produção adotado.

Materiais e Métodos

Os ensaios foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Trigo, localizado no município de Passo Fundo, RS (28°15'S, 52°24'W e altitude de 687 m), durante o ano agrícola de 1994/95, e nos anos de 1995/96 e 1996/97, no campo experimental da Braskalb Agropecuária Brasileira Ltda., no município de Coxilha, RS (28° 07'S, 52° 17'W e altitude de 721 m). Em todos os ensaios, água e nutrientes não foram limitantes. Usaram-se 250 kg/ha de adubo da formulação 5-30-12 e 120 kg de N/ha, sendo aplicados 60 kg/ha logo após a emergência e 60 kg/ha quando as plantas apresentavam 6 a 8 folhas. No ano de 1994/95, foram usados 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, foram usados 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 1996/97 a emergência ocorreu em 29 de agosto, 29 de setembro, 4 de novembro, 26 de novembro e 22 de dezembro. Todas as semeaduras em todos os anos foram efetuadas sob sistema plantio direto, com densidade de 6,25 plantas/m². Os experimentos foram delineados em blocos ao acaso, com três repetições, e as parcelas experimentais foram constituídas de 6 linhas de 10 m de comprimento com espaçamento de 0,80 m entre linhas.

Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica da Embrapa Trigo, localizada a cerca de 10 km do local do ensaio. O acúmulo de massa seca nos grãos foi determinado desde o espigamento até a maturação fisiológica, amostrando-se duas espigas, duas vezes por semana, de um lote de plantas previamente marcadas. Amostras de 50 grãos da parte mediana dessas espigas foram colocadas em estufa a 60 °C sob ventilação forçada, até a obtenção de peso constante. A taxa efetiva de crescimento de grãos para cada tratamento foi calculada segundo Johnson e Tanner (1972). O período efetivo de crescimento de grãos foi determinado pela divisão entre massa final e taxa efetiva de crescimento de grãos. O acúmulo de biomassa da parte aérea no espigamento e na maturação fisiológica foi determinado em amostras de 10 plantas, colhidas respeitando-se uma borda adequada tanto no início da linha quanto na linha de plantas, as quais foram secadas em estufa até obtenção de peso constante. Os números de sementes por espiga, sementes por unidade de área e peso final da semente foram determinados na 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.

Resultados e Discussão

O acúmulo de massa seca nos grãos do híbrido de milho superprecoce C-901, durante os anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97, evidencia que os plantios realizados mais tardiamente tendem a acumular menor massa seca no grão do que os plantios efetuados mais precocemente (Figura 1), com exceção dos dados obtidos no ano de 1995/96, em que o acúmulo de massa seca foi praticamente igual nos plantios precoces e tardios. A taxa efetiva de crescimento de grãos, incluindo três anos de cultivo, teve relação direta com a temperatura média do ar na faixa de 20 a 24 °C, com coeficiente de regressão de 0,38 mg/dia por °C ($r^2 = 0,70$, $P < 0,0001$; Figura 2). A massa seca final do grão foi menor em plantios mais tardios e teve também relação direta com a taxa efetiva de crescimento de grãos ($r^2 = 0,48$, $P < 0,01$, Figura 3),

demonstrando que há menor acúmulo de massa seca no grão quando a taxa de crescimento desses grãos é menor. Além disso, o menor período efetivo de crescimento de grãos resultou também em menor massa seca acumulada nos grãos ($r^2 = 0,37$, $P < 0,05$; Figura 4).

Nos híbridos de ciclo precoce, XL-560, cultivado em quatro épocas no ano de 1994/95, e XL-212, cultivado nos anos de 1995/96 e 1996/97, também observou-se que a massa final de grãos foi menor nos plantios efetuados em dezembro, principalmente nos anos de 1994/95 e 1996/97 (Figura 5). No ano de 1995/96, não se observaram diferenças muito pronunciadas no acúmulo de massa seca nos grãos (Figura 5). Da mesma forma que no híbrido superprecoce C-901, os híbridos precoces XL-560 e XL-212 apresentaram taxa efetiva de crescimento de grãos diretamente dependente da temperatura, que variou de 19 a 23 °C na fase linear de crescimento de grãos, com coeficiente de regressão de 0,42 mg/dia por °C ($r^2 = 0,68$, $P < 0,001$; Figura 6). Por sua vez, o maior acúmulo final de massa seca nos grãos também foi dependente de maior taxa ($r^2 = 0,39$, $P < 0,05$; Figura 7) e maior período efetivo de crescimento desses grãos ($r^2 = 0,55$, $P < 0,01$; Figura 8).

Os híbridos de ciclo tardio, XL-678, cultivado no ano de 1994/95, e XL-370, cultivado nos anos de 1995/96 e 1996/97, também apresentaram menor massa seca final de grãos nos plantios mais tardios, efetuados a partir de outubro (Figura 9). As taxas efetivas de crescimento de grãos, tanto para o híbrido XL-678 ($r^2 = 0,99$, $P < 0,01$, coeficiente de regressão de 0,25 mg/dia por °C) quanto para o híbrido XL-370 ($r^2 = 0,72$, $P < 0,01$, coeficiente de regressão de 0,29 mg/dia por °C), foram diretamente dependentes da temperatura. Essas taxas foram superiores para o híbrido XL-678 na faixa de temperatura de 19 a 23 °C (Figura 10). A massa seca final acumulada nos grãos para ambos os híbridos também foi dependente da taxa efetiva de crescimento de grãos; quanto maior a taxa efetiva, maior foi a massa seca acumulada ($r^2 = 0,65$, $P < 0,01$; Figura 11) e maior foi o tempo efetivo disponível para essa acumulação de massa seca ocorrer ($r^2 = 0,69$, $P < 0,01$; Figura 12).

Esses resultados indicam que a taxa efetiva de crescimento de grãos de híbridos de milho de diferentes ciclos é fortemente afetada pela temperatura. O incremento de massa seca no grão para o híbrido superprecoce C-901 foi de 0,38 mg/dia.°C, e de 0,42 mg/dia.°C para os híbridos precoces (XL-560 e XL-212). Já nos híbridos de ciclo mais tardio estudados (XL-678, taxa efetiva de 0,25 mg/dia.°C, e XL-370, taxa efetiva de 0,29 mg/dia.°C), a taxa efetiva de crescimento de grãos foi menor e diferenciada daquelas observadas para os híbridos de ciclo precoce e superprecoce, em virtude de a fase de crescimento de grãos nesses híbridos ter ocorrido posteriormente à de híbridos de ciclo mais precoce, portanto em temperaturas mais baixas.

O incremento de massa seca total da planta, após o espigamento, observado para híbridos nos três anos de cultivo, foi geralmente superior ao

rendimento de grãos (Figura 13), indicando que não houve limitação pela fonte produtora de assimilados nesse período (Otegui et al., 1995). Esses mesmos autores afirmam que, em híbridos de milho não prolíficos, a massa seca acumulada na parte aérea da planta no espigamento pode ser uma estimativa adequada do rendimento de grãos, desde que as condições de ambiente pós-espigamento não limitem o fornecimento de assimilados aos grãos. Por exemplo, em condições de ambiente com temperatura do ar inferior a 19 °C e com menor radiação solar incidente, os grãos adquirem menor peso final, devido à menor taxa fotossintética corrente e à menor partição de assimilados para o grão (Maddonni et al., 1998). Assim, em plantios tardios, mesmo que aparentemente não haja limitação da fonte no período após o espigamento, as condições de ambiente promovem uma menor massa final de grãos devido à menor eficiência relativa de uso da radiação verificada nesse período, em comparação a plantios mais precoces (Otegui et al., 1995). Assim, o excesso de assimilados observado durante o enchimento de grãos (Figura 13), devido à limitação na capacidade dos destinos reprodutivos, é armazenado nas partes vegetativas de plantas, principalmente nos colmos.

Por outro lado, as condições de ambiente prevaletentes antes do espigamento, principalmente temperatura e radiação, promovem crescimento vegetativo a elevadas taxas e ajustamento no número de grãos. Essa condição de alta temperatura, durante e/ou antes do estabelecimento da capacidade dos drenos, desfavorece a competição por assimilados entre espiga e grãos em formação e as demais partes da planta em crescimento, reduzindo o número de grãos no momento do “pegamento”, fato que terá reflexos no ajuste entre suprimento e demanda de fotoassimilados verificado durante o período de crescimento de grãos (Tollenaar et al., 1994). Tal situação mostrou-se típica no presente estudo, com relação principalmente a plantios efetuados em épocas mais tardias, em que as temperaturas observadas antes e durante o espigamento foram altas, provocando redução na eficiência de transformação da radiação interceptada em biomassa (Otegui et al., 1995). Já em plantios mais precoces, como a temperatura antes do espigamento é menor, há maior eficiência de transformação da radiação interceptada em massa seca, porém a acumulação total de biomassa é menor, devido à menor taxa de crescimento da cultura, motivos que determinam um número de grãos mais adequado à capacidade de suprimento de fotoassimilados durante o crescimento de grãos. Essas observações estão de acordo com resultados de Cirilo e Andrade (1994a), em que nas sementeiras do cedo há favorecimento do crescimento **reprodutivo**, enquanto em sementeiras mais tardias há favorecimento do crescimento **vegetativo** de plantas.

Taxa efetiva de crescimento de grãos de 0,3 mg/dia. °C, próxima à encontrada no presente trabalho, foi observada em experimentos semelhantes na Argentina, em que foi estudado um único híbrido (Cirilo e Andrade, 1996). Como no presente estudo, sementeiras tardias efetuadas no mês de dezembro reduziram significativamente a taxa efetiva de crescimento de grãos, quando

comparadas a semeaduras precoces efetuadas nos meses de agosto e setembro, independentemente do ciclo de maturação do híbrido, como consequência da diminuição da temperatura média que ocorre nesse período (Giauffret et al., 1991; Tollenaar, 1992). Essa redução na taxa de crescimento de grãos diminui a massa seca final de grãos (Figuras 3, 7 e 11), o número de grãos por planta e o número de grãos por unidade de área (Cirilo e Andrade, 1994a). Segundo esses autores, o efeito de plantios tardios na redução do número de grãos em milho ocorre devido à diminuição no número de espigas e no número de grãos por espiga observado na colheita, como consequência da limitação imposta pela diminuição da temperatura e pela taxa fotossintética (Cirilo e Andrade, 1994a).

Posto que a acumulação final de massa no grão depende basicamente da disponibilidade de fotoassimilados, pode-se supor que a menor massa seca de grãos observada em plantios efetuados no mês de dezembro seja consequência de menor disponibilidade de fotoassimilados, que caracterizaria a fonte como fator limitante (Tollenaar e Daynard, 1978). No entanto, a limitação na fonte produtora de assimilados, parece ser imposta pela temperatura, que altera substancialmente a partição de assimilados refletindo na acumulação de massa seca no grão (Tollenaar, 1989), principalmente através da diminuição da capacidade dos grãos (menor número de grãos) em mobilizar assimilados, e da menor taxa efetiva de crescimento.

A temperatura também tem efeito na taxa de desenvolvimento e na taxa de acúmulo de massa seca, fatores que afetam a partição e o tempo de acúmulo de massa seca nos grãos (período efetivo de crescimento de grãos), muito embora seja difícil estabelecer uma relação de causa e efeito entre taxa de crescimento e partição, uma vez que essas variáveis não podem ser alteradas de forma independente (Tollenaar, 1989). Dessa maneira, quando a fonte torna-se limitante, nem mesmo o aumento no período efetivo de crescimento de grãos é suficiente para compensar a menor taxa efetiva de crescimento de grãos, devido à baixa temperatura, e como resultado há um menor peso final de grãos (Jones et al., 1996).

Por outro lado, quando o crescimento de grãos ocorre em temperaturas elevadas, entre 25 e 32 °C, o aumento na taxa efetiva de crescimento de grãos, com correspondente encurtamento do período, só não reduz o rendimento de grãos se a radiação incidente for proporcional ao aumento em temperatura (Muchow, 1990). Esse aumento na taxa efetiva de crescimento de grãos ocorre, nas condições do RS, quando o plantio é efetuado em épocas mais precoces, situação em que o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa antes do espigamento ocorrem em temperaturas mais amenas, aumentando substancialmente no período crítico de definição do número de grãos. Essa condição parece favorecer a formação de grãos mais pesados e caracteriza menor limitação da fonte produtora de assimilados, uma vez que tanto a biomassa acumulada em pré-espigamento quanto a fotossíntese

corrente parecem ser capazes de suportar elevadas taxas de crescimento de grãos.

Vários autores têm demonstrado que as épocas de plantio parecem não afetar o número potencial de grãos, e que a disponibilidade de assimilados para a espiga no período de “pegamento” de grãos, a taxa de crescimento da cultura ao redor do florescimento e o abortamento de grãos são fatores determinantes do número final de grãos (Otegui e Melón, 1997; Cirilo e Andrade, 1994a; Andrade et al., 1993a; Tollenaar, 1977). Outro fator que pode afetar o número de grãos, diminuindo a capacidade dos grãos em mobilizar assimilados e tornando os grãos restantes com maior peso, poderia ser a baixa eficiência da cultura em transformar em número de grãos, a massa seca acumulada no período anterior ao espigamento, o que parece ser característico de plantas cultivadas sob baixa densidade de plantio (Andrade et al., 1993a). Esse fato é demonstrado quando se usam híbridos prolíficos, que em baixa densidade de plantas são mais eficientes em transformar biomassa acumulada em grãos do que híbridos não prolíficos (Tollenaar et al., 1992; Prior e Russell, 1975). Por outro lado, em densidades de plantas acima de ótimo, a limitação ao número de grãos pode ser a reduzida partição de assimilados para os grãos, explicada pelo decréscimo na eficiência de converter radiação interceptada em força de dreno (Andrade et al., 1992; Andrade et al., 1993a; Andrade et al., 1993a).

Em condições em que a fonte parece ser fator limitante para o estabelecimento de grãos, como neste estudo, principalmente em épocas de plantio mais tardias, o aumento da oferta de fotoassimilados poderá ser obtido pela redução da população de plantas (Jones e Simmons, 1983). Em situações em que a capacidade dos grãos em alocar fotoassimilados é fator limitante, como em plantios mais precoces na região sul do Brasil, pode-se aumentar a densidade de plantas, para que haja aumento na interceptação e conversão da radiação, de modo a promover equilíbrio na relação fonte/dreno, sem que a taxa e a duração do período de enchimento de grãos sejam substancialmente alteradas (Stewart et al., 1997; Schoper et al., 1982; Magalhães e Jones, 1990; Daynard et al., 1971). O aumento na densidade de plantas, nesse caso, seria acompanhado por aumento no número de grãos por unidade de área e não por aumento no número de grãos por planta, que parece ser pré-determinado, refletindo o potencial genético da planta (Uhart e Andrade, 1995; Magalhães e Jones, 1990a). Obviamente, apesar de tolerarem elevadas densidades de plantas, os híbridos modernos são mais sensíveis a condições de estresse em anos de baixa precipitação pluvial, provocando diminuição na capacidade dos drenos em acumular fotoassimilados disponíveis (Cox, 1996; Ouattar et al., 1987). Além do estresse hídrico, a diminuição na disponibilidade de radiação incidente próximo ao florescimento, como consequência direta da elevada densidade populacional, pode limitar a taxa de crescimento da espiga, aumentar o abortamento de flores já desenvolvidas e diminuir principalmente o número de grãos por espiga (Otegui, 1977).

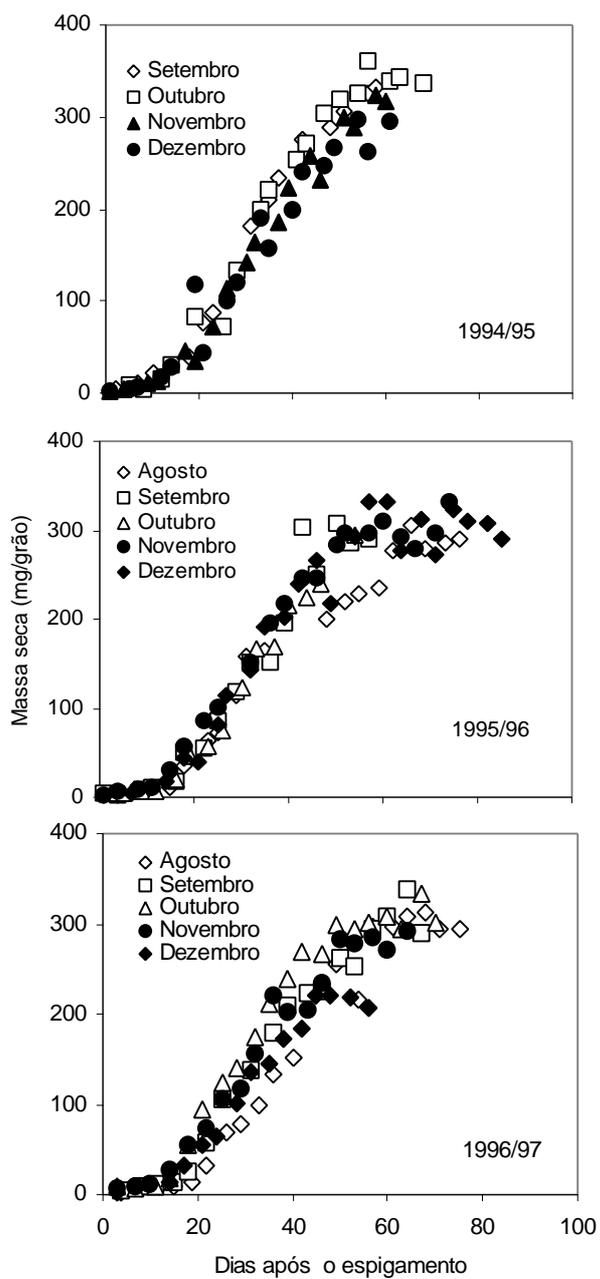


FIGURA 1. Acúmulo de massa seca de grãos após o espigamento em diferentes épocas de semeadura do híbrido C-901, nos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97.

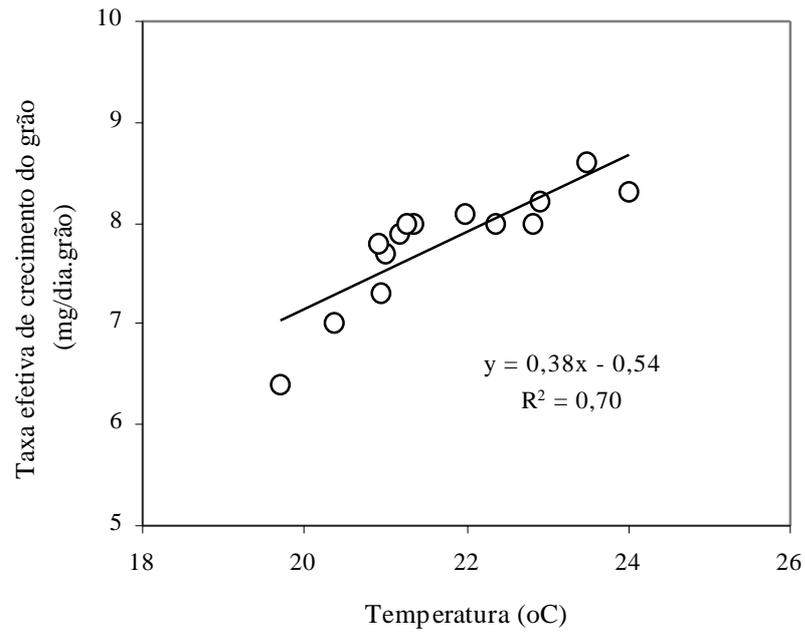


FIGURA 2. Relação entre taxa de crescimento efetivo de grãos e temperatura média durante a fase de crescimento linear de grãos, incluindo dados dos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97, do híbrido de milho C-901.

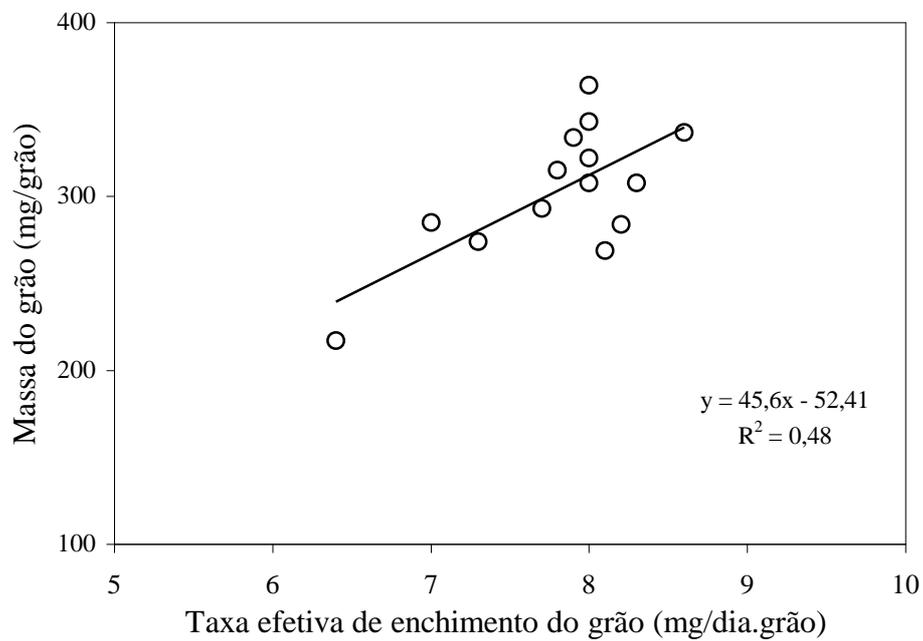


FIGURA 3. Relação entre massa seca final e taxa efetiva de crescimento de grãos, incluindo dados dos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97, do híbrido de milho C-901.

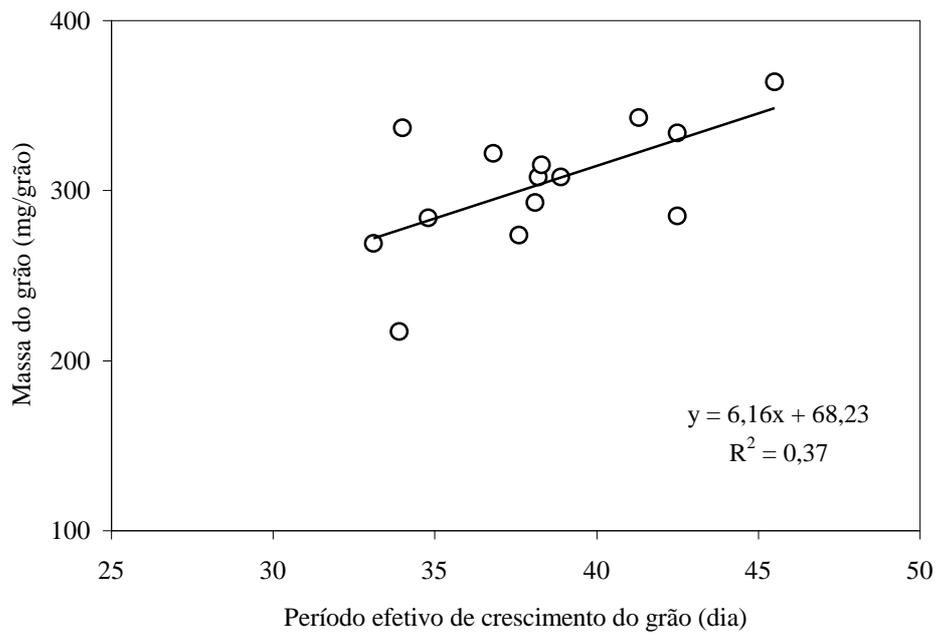


FIGURA 4. Relação entre massa final e período efetivo de crescimento de grãos, incluindo dados dos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97, do híbrido de milho C-901.

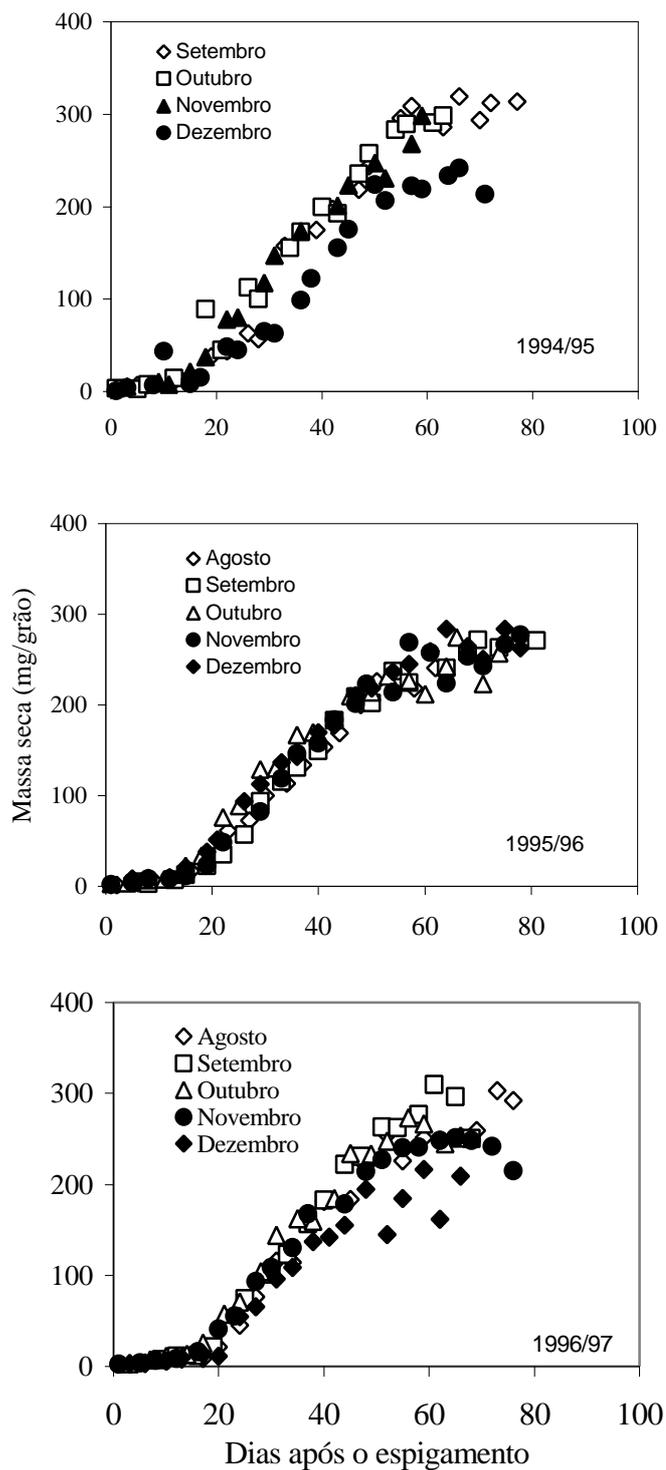


FIGURA 5. Acúmulo de massa seca de grãos após o espigamento em diferentes épocas de semeadura dos híbridos de milho XL-560, no ano de 1994/95, e XL-212, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

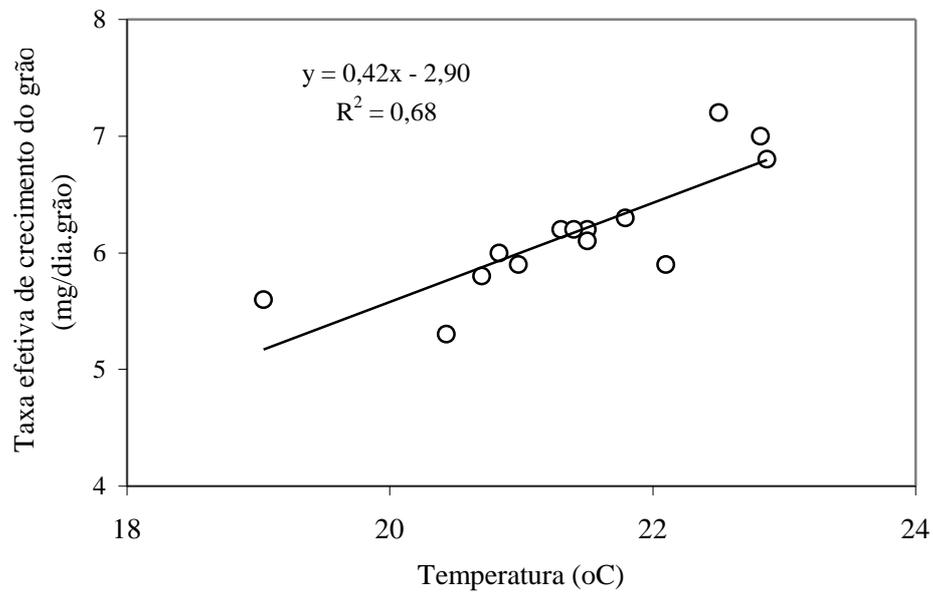


FIGURA 6. Relação entre taxa efetiva de crescimento de grãos e temperatura média durante a fase de crescimento linear de grãos dos híbridos de milho XL-560, em 1994/95, e XL-212, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

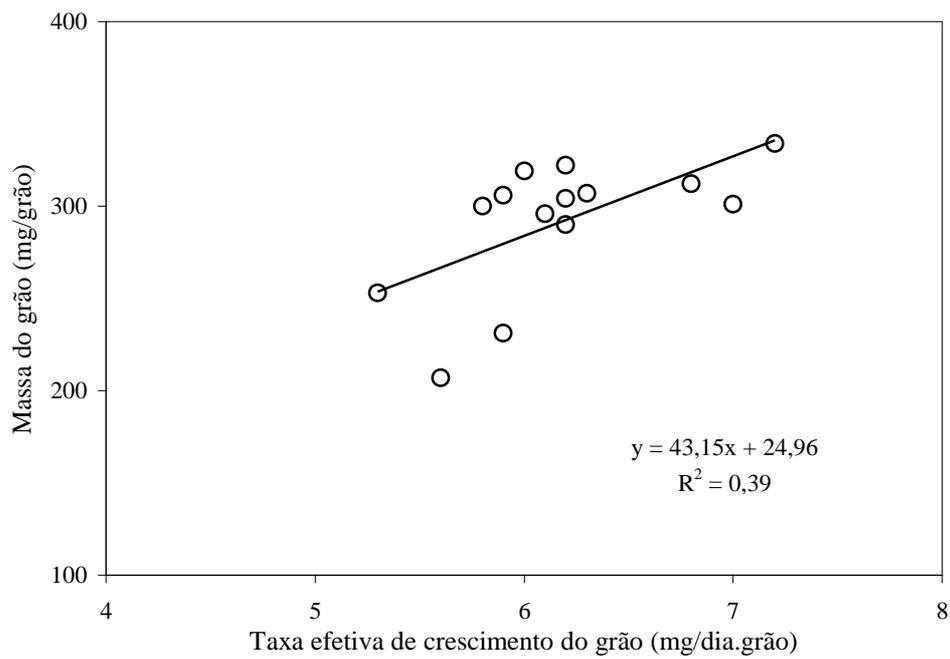


FIGURA 7. Relação entre massa seca final e taxa efetiva de crescimento de grãos dos híbridos de milho XL-560, no ano de 1994/95, e XL-212, nos anos de 1995/06 e 1996/97.

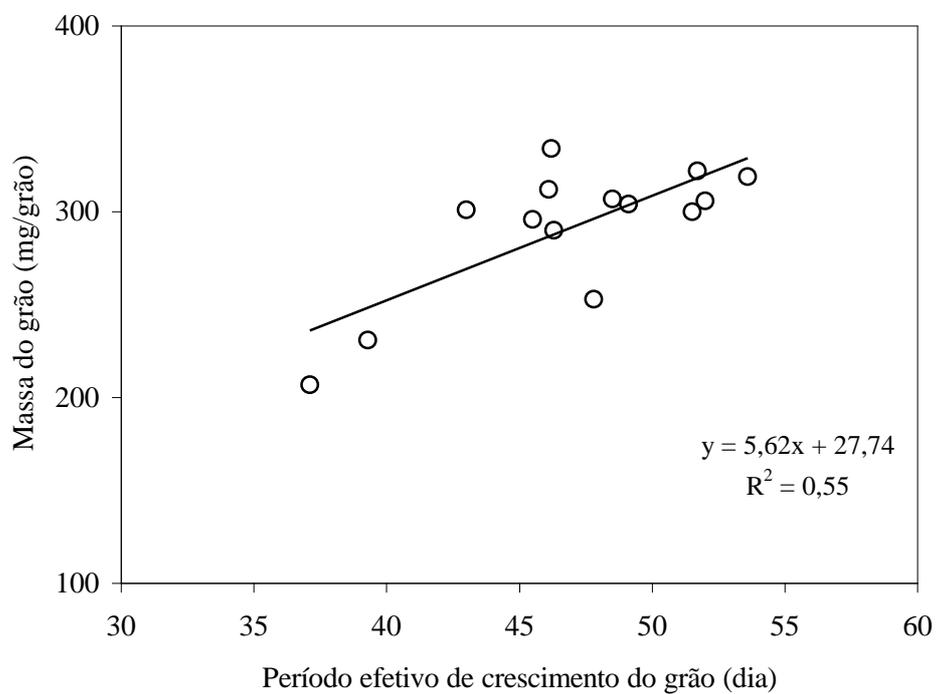


FIGURA 8. Relação entre massa seca final e período efetivo de crescimento de grãos dos híbridos de milho XL-560, no ano de 1994/95, e XL-212, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

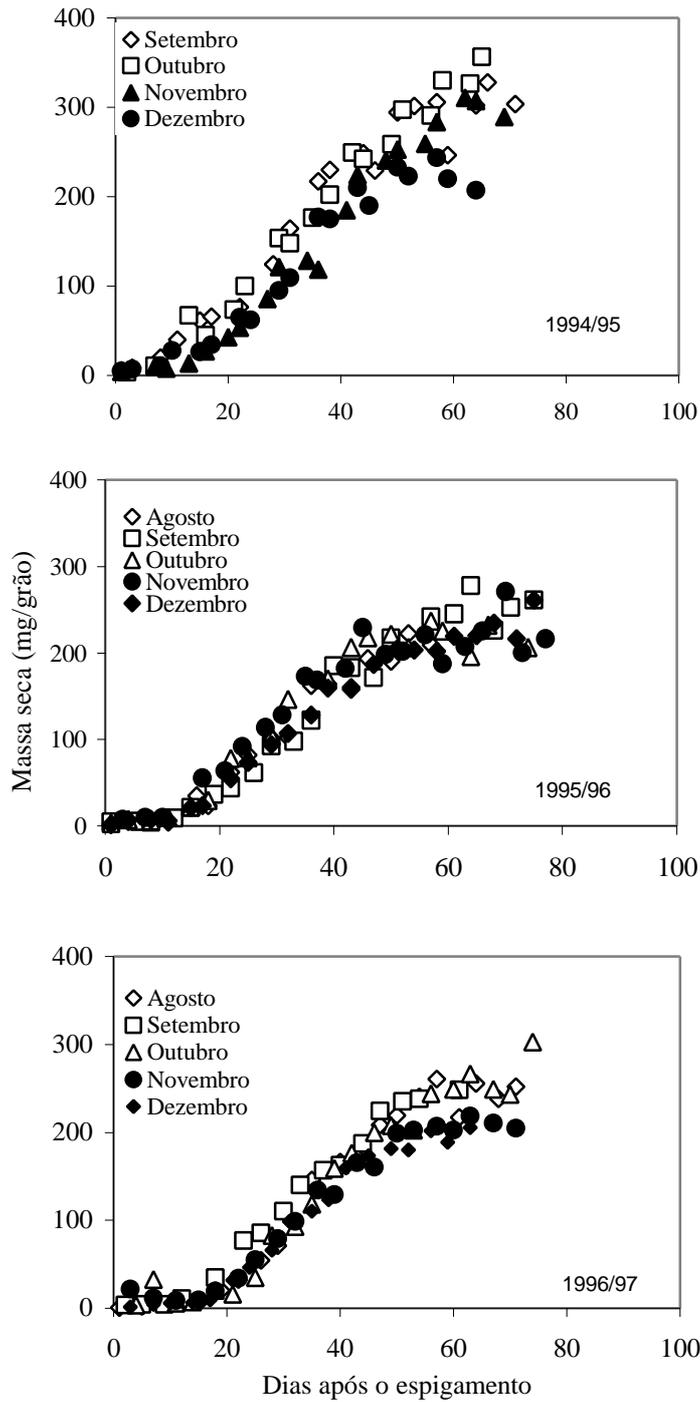


FIGURA 9. Acúmulo de massa seca de grãos após o espigamento em diferentes épocas de semeadura dos híbridos de milho XL-678, no ano de 1994/95, e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

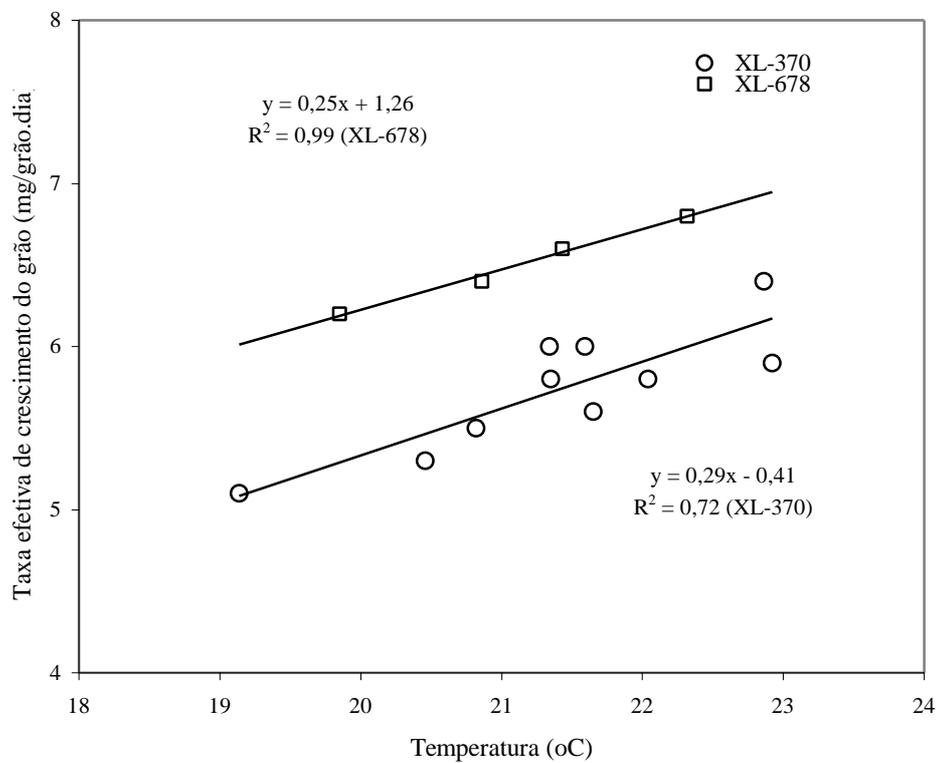


FIGURA 10. Relação entre taxa efetiva de crescimento de grãos e temperatura média durante a fase de crescimento linear de grãos dos híbridos de milho XL-678, em 1994/95, e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

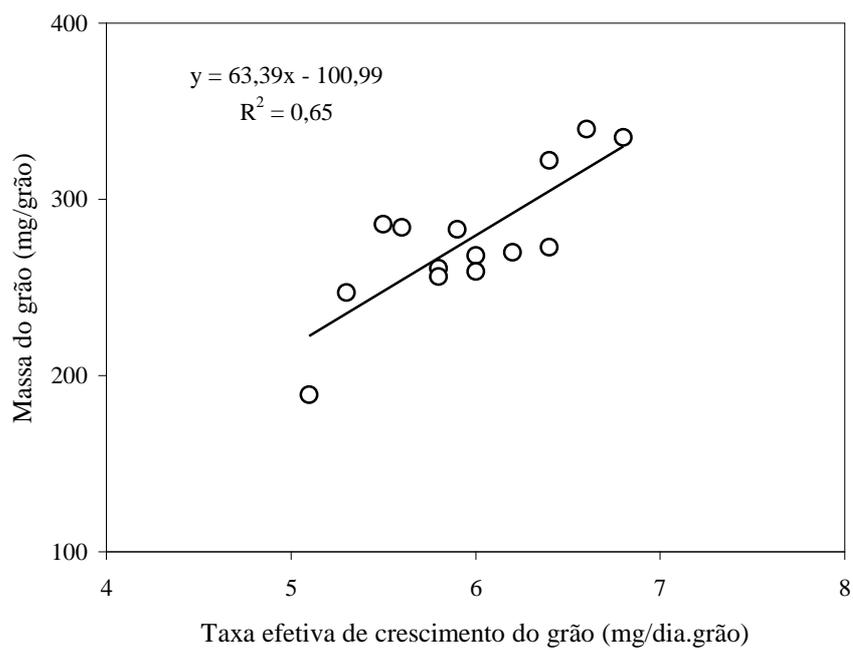


FIGURA 11. Relação entre massa seca final e taxa efetiva de crescimento de grãos dos híbridos de milho XL-678, no ano de 1994/95, e XL-370, nos anos de 1995/06 e 1996/97.

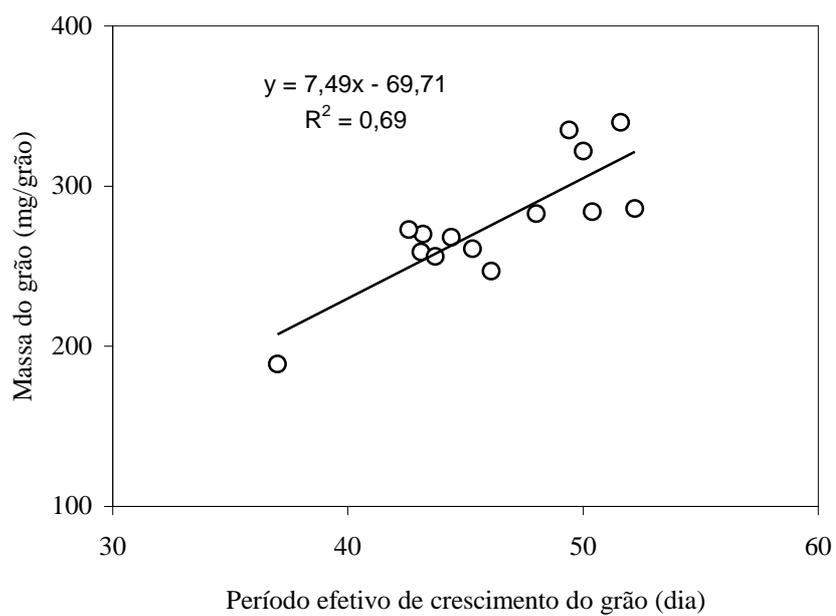


FIGURA 12. Relação entre massa seca final e período efetivo de crescimento de grãos dos híbridos de milho XL-678, no ano de 1994/95, e XL-370, nos anos de 1995/96 e 1996/97.

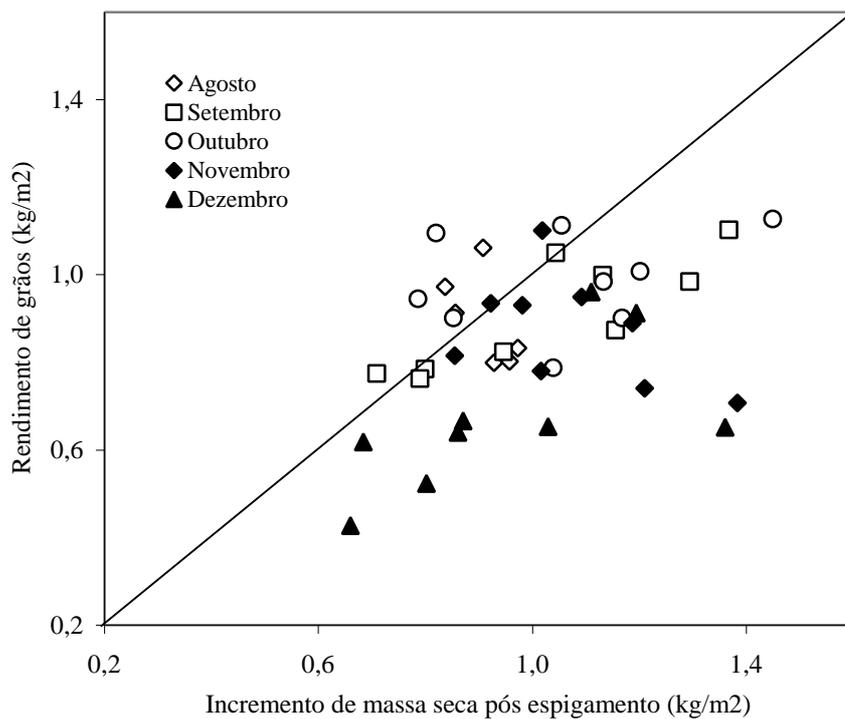


FIGURA 13. Relação entre rendimento de grãos e incremento de massa seca total da parte aérea no período compreendido entre o espigamento e a maturação fisiológica, incluindo dados dos híbridos de milho C-901, XL-560, XL-678, XL-212 e XL-370, nos anos de 1994/95, 1995/96 e 1996/97. A linha representa a relação 1:1.

CONCLUSÕES

A taxa efetiva de crescimento de grãos em todos os híbridos testados foi diretamente dependente da temperatura média do ar.

A taxa efetiva de crescimento de grãos nas semeaduras precoces foi mais elevada do que nas semeaduras tardias, o que resultou em grãos mais pesados.

O acúmulo de massa seca nos grãos foi dependente da taxa de crescimento de grãos e do tempo efetivo em que os grãos permaneceram acumulando massa seca.

A menor temperatura do ar no período efetivo de crescimento de grãos em semeaduras tardias induziu menor taxa de crescimento de grãos, atuante por menor espaço de tempo, resultando em grãos mais leves.

Em épocas de semeadura mais tardias, o aumento da oferta de fotoassimilados poderá ser obtido pela redução da população de plantas, e em situações em que a capacidade dos grãos em alocar fotoassimilados é fator limitante, como em semeaduras mais precoces na região sul do Brasil, pode-se aumentar a densidade de plantas.

AGRADECIMENTO

Agradecimento especial à Braskalb Agropecuária Brasileira Ltda., Coxilha, RS, pela cooperação na condução dos ensaios nos anos de 1995/96 e 1996/97.

Referências Bibliográficas

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**, v.39, p.153-161, 1988.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; ARGUISAIN, G.G.; RUIZ, R.A. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. **Field Crops Research**, v.28, p.345-354, 1992.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperature affects radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v.32, p.17-25, 1993b.

ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; FRUGONE, M.I. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. **Crop Science**, v.33, p.482-485, 1993a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and kernel weight in maize. **Crop Science**, v.36, p.325-331, 1996.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.34, p.1039-1043, 1994a.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. **Crop Science**, v.34, p.1044-1046, 1994b.

COX, W.J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, v.88, p.489-496, 1996.

DAYNARD, T.B.; TANNER, J.W.; DUNCAN, W.G. Duration of grain filling period and its relation to grain yield in corn, *Zea mays* L. **Crop Science**, v.11, p.45-48, 1971.

GIAUFFRET, C.; BONHOMME, R.; DORVILLEZ, D.; DERIEUX, M. Conversion of intercepted radiation into aerial dry biomass for three maize genotypes: influence of plant density. **Maydica**, v.36, p.25-27, 1991.

GRANT, R.F. Simulation of carbon assimilation and partitioning in maize. **Agronomy Journal**, v.81, p.563-571, 1989.

JACOBS, B.C.; PEARSON, C.J. Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. **Field Crops Research**, v.27, p.281-298, 1991.

JOHNSON, D.R.; TANNER, J.W. Calculation of the rate and duration of grain filling in corn (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v.12, p.485-486, 1972.

JONES, R.J.; ROESSLER, J.; OUATTAR, S. Thermal environment during endosperm cell division in maize: effects on number of endosperm cells and starch granules. **Crop Science**, v.25, p.830-834, 1985.

JONES, R.J.; SCHREIBER, B.M.N.; ROESSLER, J.A. Kernel sink capacity in maize: Genotypic and maternal regulation. **Crop Science**, v.36, p.301-306, 1996.

JONES, R.J.; SIMMONS, S.R. Effect of altered source sink relation on growth of maize kernels. **Crop Science**, v.23, p.129-134, 1983.

MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E.; BONHOMME, R. Grain yield components in maize. II. Postsilking growth and kernel weight. **Field Crops Research**, v.56, p.257-264, 1998.

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

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

MUCHOW, R.C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, v.23, p.145-158, 1990.

OTEGUI, M.E.; MELÔ N, S. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: I. Sowing date effects. **Crop Science**, v.37, p.441-447, 1997.

OTEGUI, M.E. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II. Plant population effects. **Crop Science**, v.37, p.448-455, 1997.

OTEGUI, M.E.; NICOLINI, M.G.; RUIZ, R.A.; DODDS, P.A. Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes. **Agronomy Journal**, v.87, p.29-33, 1995.

OUATTAR, S.; JONES, R.J.; CROOKSTON, R.K. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. **Crop Science**, v.27, p.726-730, 1987.

PRIOR, C.L.; RUSSELL, W.A. Yield performance of non-prolific and prolific maize hybrids at six plant densities. **Crop Science**, v.15, p.482-486, 1975.

RIO GRANDE DO SUL. Programa Multiinstitucional de Difusão de Tecnologia em Milho. **Recomendações técnicas para a cultura do milho no RS**. Porto Alegre: FEPAGRO/EMATER-RS/FECOTRIGO, 1999. 144p. (Boletim Técnico, 6).

RODRIGUES, O; BERTAGNOLLI, P.F.; SANTOS, H.P. DOS; DENARDIN, J.E. Cadeia produtiva da cultura da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 18., 1998, Londrina. **Palestras...** Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia / IAPAR, 1998. P.45-57.

SCHOPER, J.B.; JOHNSON, R.R.; LAMBERT, R.J. Maize yield response to increased assimilate supply. **Crop Science**, v.22, p.1184-1189, 1982.

SETTER, T.L.; FLANNIGAN, B.A. Sugar and starch redistribution in maize in response to shade and ear temperature treatment. **Crop Science**, v.26, p.575-579, 1986.

STEWART, D.W.; DWYER, L.M.; ANDREWS, C.J.; DUGAS, J.-A. Modeling carbohydrate production, storage, and export in leafy and normal maize (*Zea mays* L.). **Crop Science**, v.37, p.1228-1236, 1997.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, v.37, p.305-311, 1992.

TOLLENAAR, M. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. **Crop Science**, v.29, p.1239-1246, 1989.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize: A review. **Maydica**, 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**, 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**, v.32, p.432-438, 1992.

TOLLENAAR, M.; McCULLOUGH, D.E.; DWYER, L.M. Physiological basis of the genetic improvement of corn. In: SLAFER, G.A., ed. **Genetic improvement of field crops**. New York: Marcel Dekker, 1994. Cap.4, p.183-236.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crops growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, v.35, p.1376- 1383, 1995.



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Irineu Lorini

Membros: Beatriz M. Emygdio, Gilberto O. Tomm, Sírio Wiethölter, José Maurício C. Fernandes, Martha Z. de Miranda, Renato S. Fontaneli, Sandra P. Brammer

Expediente

Referências bibliográficas: Maria Regina Martins

Editoração eletrônica: Márcia Barrocas Moreira Pimentel

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D. **Crescimento e desenvolvimento de milho:** efeito da temperatura na duração e na taxa de crescimento de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 24 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 15). Disponível: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bp15.htm