

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO (*Zea mays* L.)
SUBMETIDO A VÁRIOS INTERVALOS DE IRRIGAÇÃO, NA REGIÃO DA PRÉ-
AMAZÔNIA**

**Emanoel Gomes de Moura; Ana Paula Rosa Teixeira; Valdirene do Socorro Ribeiro;
Alana das Chagas Ferreira Aguiar; Maryzélia Furtado de Farias**

*Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA,
egmoura@elo.com.br*

1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar o efeito da variação do intervalo entre irrigações no crescimento e produtividade da cultura do milho, foi conduzido este experimento em um ARGISSOLO da Pré-Amazônia, com frequências de 6, 8, 10, 12 e 14 dias, em parcelas de 12 x 3,20m. Durante a fase de crescimento foram avaliadas, semanalmente, a área foliar, e a matéria seca e estimadas a taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento e o índice de área foliar. Na colheita foram determinados o peso de 100 grãos, o peso das espigas, o número de grãos por espiga e peso de grãos. Antes de cada irrigação foi avaliada a umidade do solo por gravimetria e com base na curva característica foi estabelecido o limite de -500kPa como sendo o potencial de água em que a evapotranspiração relativa atinge o nível crítico na região do experimento.

Concluiu-se que um moderado déficit de água no solo diminuiu a taxa de crescimento da parte aérea, sem prejudicar, no entanto, a capacidade reprodutiva. A maior eficiência do uso da água foi obtida com o tratamento irrigado com a frequência de 10 dias, por ter produzido espigas 80% mais pesadas e um aumento na produção econômica em 72% quando comparado, aos demais tratamentos.

UNITERMOS: milho, crescimento, produtividade, irrigação.

**MOURA, E.G.DE; TEIXEIRA, A.P.R.; RIBEIRO, V. DO S.; AGUIAR, A. DAS C. F.;
FARIAS, M.F. GROWTH AND PRODUCTIVITY OF MAIZE (*Zea mays* L.)
SUBMITTED TO SEVERAL IRRIGATION INTERVALS IN THE PRE-AMAZON
AREA**

2 ABSTRACT

This study evaluates the effect of different irrigation intervals on maize growth and productivity on an Argisol in the southeastern periphery of the Amazon. The experiment consisted of five treatments with irrigation frequencies of 6, 8, 10, 12 and 14 days, each treatment was replicated in five 12 x 3.2m plots. During the growth phase, foliar area and dry matter were measured on a weekly basis for estimation of NAR, growth rate and leaf area index; at harvesting the weight of 100 grains, ear weight, number of grains per ear and grain biomass were determined. Preceding each irrigation, soil humidity was gravimetrically measured and, based on characteristic curve moisture, a critical threshold of -500kPa soil water potential, below which relative evapotranspiration becomes critical in the study area,

was established. Irrigation frequency of every 10 days turned out to be the most efficient treatment, because it produced ear that were 50% heavier and increased productivity up to 72% when compared to the other treatments. It was concluded that moderate soil water deficit reduces shoot growth rates, but does not affect the plant reproductive capacity.

KEYWORDS: maize, growth, productivity, irrigation.

3 INTRODUÇÃO

O uso racional da água na agricultura requer um esforço renovado da pesquisa e dos processos de transferência de tecnologia devendo ser incrementado por vários motivos econômicos e ambientais. Nas regiões onde a água é escassa, muitas vezes ainda se tem como agravante a baixa disponibilidade de capital financeiro e humano dificultando a instalação de equipamentos sofisticados que poderiam facilitar a racionalização dos mecanismos de sua aplicação, o que significa que o aumento da eficiência dos projetos de irrigação depende da melhoria do manejo de sistemas de menor custo, como alertou Pereira (2002).

Nas áreas com evapotranspiração potencial diária superior a 6 mm o crescimento e a produtividade das culturas pode ser prejudicado, por estresse de água, mesmo com umidade suficiente para sustentar potenciais de água no solo tão altos quanto -40kPa. Quando a tensão chega a -500kPa o crescimento é praticamente anulado pela baixa condutância estomática derivada da diminuição da taxa de evapotranspiração relativa, como demonstrado no trabalho de Denmead & Shaw (1962). Em cultura irrigada e na estação seca, isto significa que a manutenção de uma taxa de transpiração relativa não estressante pode exigir irrigações muito freqüentes, o que aumenta a importância da utilização criteriosa dos parâmetros que determinam o volume e a freqüência de aplicação de água.

As inúmeras respostas fisiológicas das plantas ao déficit de água geralmente variam com a severidade e duração do estresse. As mudanças desenvolvidas pelas plantas em resposta ao avanço gradual do estresse de água no campo foram descritas por Bradford & Hsiao (1982) e vão da diminuição do dossel e da relação copa/raiz, à senescência e dissecação da folha, passando pelo ajustamento osmótico e fechamento dos estômatos.

As estratégias adaptativas das plantas de milho sob condições de estresse de água, segundo Pandey et al. (2000), resultam na diminuição do índice de área foliar e aumento do sistema radicular, diminuindo a relação copa/raiz e aumentando a eficiência no uso da água. Mas a habilidade para manutenção da taxa de crescimento da cultura varia com o nível de estresse e com o suprimento de nitrogênio. Otegui et al. (1995), embora tenham confirmado uma maior eficiência no uso da água nas plantas estressadas, ressaltaram o efeito negativo do estresse sobre a capacidade do ovário sincronizar a produção de estigmas funcionais com a fase de maior presença dos grãos de pólen. Se o estresse ocorre durante o desenvolvimento vegetativo diminui o crescimento e a colheita, por reduzir o crescimento da área foliar e o acúmulo de matéria seca no colmo, (Santos & Carlesso, 1998). Quando a deficiência acontece na pré-floração, ocorre a senescência prematura das folhas levando a redução da fotossíntese o que, segundo Ferreira et al. (2000), ocasiona mudanças na partição do fotoassimilados, e no posterior desenvolvimento dos órgãos reprodutores. No trabalho de Bolanos e Edmeads (1996) a partição da biomassa durante o florescimento foi altamente correlacionada com a produção de grãos, o que segundo Andrade e Ferreira (1996) se deve à diminuição da duração do período de enchimento dos grãos, o que afeta mais o peso que o número dos grãos.

Vários índices fisiológicos são deduzidos e utilizados na tentativa de explicar e compreender as diferenças de comportamento das comunidades vegetais. Entre os mais utilizados, encontram-se o índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura e a taxa de assimilação líquida (Pereira & Machado, 1987).

Segundo Nogueira *et al.* (1994) a análise de crescimento é uma técnica fundamental para quantificar esses componentes de crescimento, representando o primeiro suporte na avaliação da produção primária, e por isto considerada um método prático para estudar a taxa fotossintética de produção. Esta representa o primeiro passo na análise da produção de vegetal e requer informações que podem ser obtidas sem necessidade de equipamentos sofisticados.

O uso de intervalos fixos entre irrigações é generalizado entre os agricultores, principalmente para culturas como o milho, que é considerada uma cultura eficiente no aproveitamento de água. Kang *et al.* (1998) recomendou para o milho o turno de rega variável porque, em relação ao turno de rega fixo, melhora a distribuição das raízes e aumenta a produção de biomassa, resultando em maior eficiência do uso da água. No entanto, a escolha da melhor frequência, no campo, deve levar em conta uma complexa interação entre a extensão dos inevitáveis períodos de estresse, com a possibilidade de sua ocorrência nas fases mais críticas para o desenvolvimento das culturas.

Dentro deste contexto, este trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito da variação do intervalo entre irrigações no crescimento e produtividade da cultura do milho, visando a maior eficiência no uso da água, em um ARGISSOLO da pré-amazônia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão, no interior da Ilha de São Luís/MA, situado na região do meio-norte brasileiro, entre a amazônia úmida e o nordeste seco a 44° 18' W de longitude e 2° 30'S de latitude. A temperatura média local gira em torno de 26°C, as médias máximas e mínimas oscilam entre 28-33 °C e 20-23°C, respectivamente. Tem-se de um modo geral, na região, um período seco de 6 a 7 meses, dos quais 3 e 4 meses muito secos, com menos de 8% da chuva total. E no período chuvoso, de 5 a 6 meses, pelo menos 2 meses podem ser considerados muito chuvosos, com mais de 40% da precipitação total. A média da precipitação anual é de 2100 mm, sendo que durante a realização do experimento não ocorreu nenhuma precipitação.

O solo da área foi, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, classificado como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico arênico, textura franca arenosa (EMBRAPA, 1999), com as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 4,3; P (resina) = 7,0 g dm⁻³, (H+Al) = 33 mmolc dm⁻³; K, Ca e Mg = 1,2; 9,0; 3,0 mmolc dm⁻³, respectivamente; S = 13,2; CTC = 46,2; V(%) = 28,6 e com as seguintes características físicas: Areia = 560 Kg.m⁻³; Silte = 80,0 Kg.m⁻³ e Argila = 100 Kg.m⁻³, densidade do solo (ps) de 1,450kg . m⁻³ e porosidade total (Φ_t) de 0,45.

Cada tratamento foi constituído por uma faixa de quatro linhas de milho, com espaçamento de 0,80m, dividida transversalmente em 5 parcelas de 12 x 3,20m, com área útil de 10 x 1,60m e quatro plantas por metro. Foi estudado o híbrido duplo AG 1051, escolhido por sua rusticidade e capacidade de produzir em solos de baixa fertilidade.

Foi utilizado o método de irrigação por sulcos retos com 60 m de comprimento e 0,5% de declividade, abastecidos com tubo janelado e com frequências de irrigação de 6, 8, 10, 12 e 14 dias. A lâmina de irrigação, de 1.824 L por sulco, foi calculada com base na equação: V =

$[(\Phi_t - \phi_r) - PM] \times Z \times f$, onde Φ_t é a porosidade total média do solo do experimento, = 0,45, ϕ_r a porosidade livre de água remanescente = 0,20, o ponto de murcha permanente = 0,06, todos em v/v. Z a profundidade efetiva do sistema radicular = 400mm, e 0,5 o coeficiente de retorno. Utilizou-se redução de vazão, com máxima de $2L.s^{-1}$ e vazão mínima ou de irrigação de $0,8L.s^{-1}$.

A adubação de plantio constou de 45 Kg ha^{-1} de N, 146 Kg ha^{-1} de P_2O_5 e 67 Kg ha^{-1} de K_2O , nas formas de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Na adubação em cobertura foram aplicados 40 Kg ha^{-1} de N, 34 Kg ha^{-1} de N, 34 Kg ha^{-1} de K_2O e 5 Kg ha^{-1} de Zn (Zincogram) aos 40 dias após a germinação.

Semanalmente, foram coletadas três plantas por parcela para acompanhamento da dinâmica do crescimento da cultura em avaliações biométricas referentes à área foliar e produção de matéria seca, a partir das quais foram estimados, segundo Portes & Castro Jr. (1991), os parâmetros fisiológicos: taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento da cultura (TCC) e índice de área foliar (IAF). Para a determinação da área foliar, as folhas foram separadas das plantas no ponto de inserção do colmo com a bainha e submetidas a um medidor de área foliar Licor, modelo 3100. Para avaliação da matéria seca, o mesmo material foi deixado em estufa à 60°C com circulação de ar forçada, até atingir massa constante. Antes de cada irrigação foram retiradas amostras do solo em cada parcela, em três repetições para determinação da umidade, por gravimetria, que multiplicada pela densidade média do solo ($1,45 \text{ g.cm}^{-3}$) foi transformada em umidade volumétrica. O nível crítico de $10\text{cm}^3.100\text{cm}^{-3}$ de solo foi estabelecido a partir da curva característica, levando em conta o limite de -500kPa , de potencial de água, conforme a curva de evapotranspiração relativa de Denmead & Shaw (1962), para uma evapotranspiração potencial diária de 6mm. Foram avaliados os parâmetros de produtividade: peso médio das espigas, número de grãos por espiga, peso de 100 grãos, peso de grãos, índice de colheita e a eficiência do uso da água, considerada como a razão entre quilos de grãos por litro de água consumido.

Aos 15 dias após a semeadura a cultura estava completamente estabelecida, quando então se realizou uma irrigação simultânea em todos os tratamentos, a partir da qual se iniciou a contagem dos intervalos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão da primeira inflorescência masculina ocorreu aos 45 dias e aos 55 todas as plantas haviam florescido. Em todos os tratamentos ocorreram períodos em que o potencial de água do solo esteve abaixo do nível crítico de -500kPa , como mostram os resultados da umidade do solo, na Figura 1. Na análise do número, posição e extensão dos períodos, se verifica que nos tratamentos com maior intervalo, foram também maiores os períodos sem estresse entre irrigações, provavelmente devido à uma menor taxa de evapotranspiração decorrente de um índice de área foliar ajustado para as condições de déficit de água como observado por Otegui et al. (1995). Quando se considera apenas a fase de crescimento dos órgãos reprodutivos, entre o 45° e o 60° dias, a extensão do período de estresse do tratamento 10 foi inferior a todos os outros tratamentos.

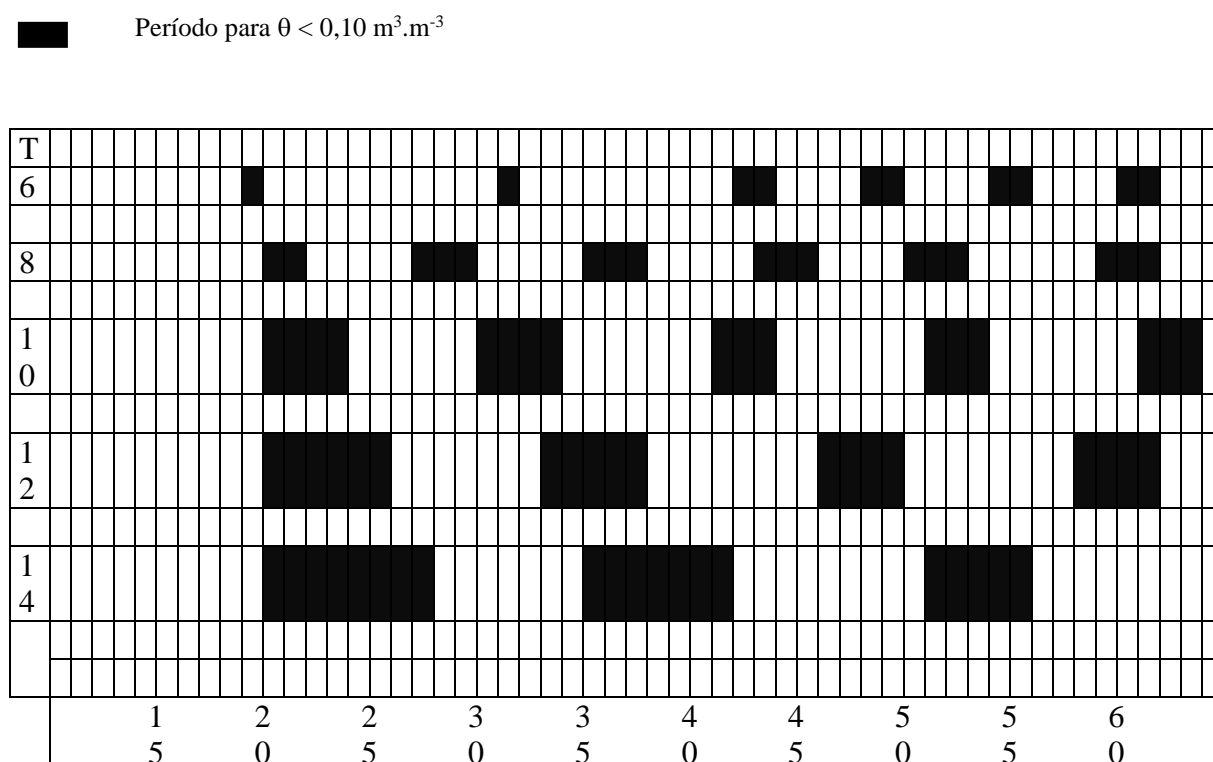


Figura 1. Períodos, entre o 15^o e o 65^o dia após a germinação, quando a umidade (θ) foi menor do que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos tratamentos com intervalos de 6, 8, 10, 12 e 14 dias entre irrigações.

Realmente, o crescimento da superfície da folha se mostrou, nos vários tratamentos, sensibilidade diferenciada aos estresses aplicados, como se pode verificar na Figura 2a. A alta sensibilidade à expansão das folhas, ao estresse hídrico, discutida por Bradford & Hsiao (1982) e Otegui et al. (1995) se manifestou de forma a permitir a divisão das plantas em 3 grupos distintos, representados pelos tratamentos 6 e 8, grupo I, 10 e 12 grupo II, e 14 grupo III, sugerindo que para efeito da produção de superfície fotossintética o grau e os períodos de estresse dentro dos grupos foram equivalentes. Segundo Sharp & Davies (1975), a redução no desenvolvimento do dossel resulta do processo de redefinição de drenos preferenciais para a construção de uma nova relação copa raiz, mais adequada às condições em que, o aumento da absorção de água e a diminuição da evapotranspiração são cruciais para o desenvolvimento vegetativo. As diferenças na matéria seca acumulada (Figura 2b) foram consequência de dois períodos extensos de estresse que foram determinantes para diminuição irreversível da taxa de assimilação líquida das plantas dos tratamentos 12 e 14, como se vê na Figura 3a. Segundo Chaves (1991), este fenômeno resulta de um efeito inibitório não específico, sobre as enzimas envolvidas na fixação do CO_2 , causado pelo aumento do soluto das células, por vezes acompanhado da diminuição do volume do mesófilo ou do conteúdo relativo de água.

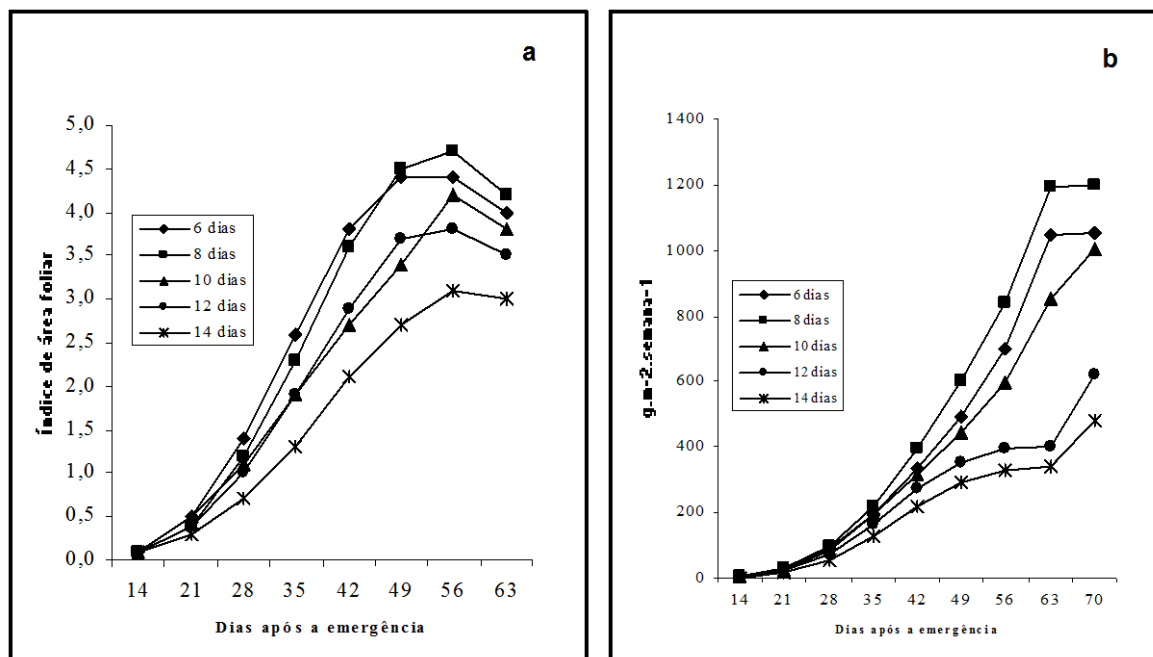


Figura 2. Índice de área foliar e matéria seca acumulada ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{semana}^{-1}$) a partir do 15º (DAE) após a semeadura.

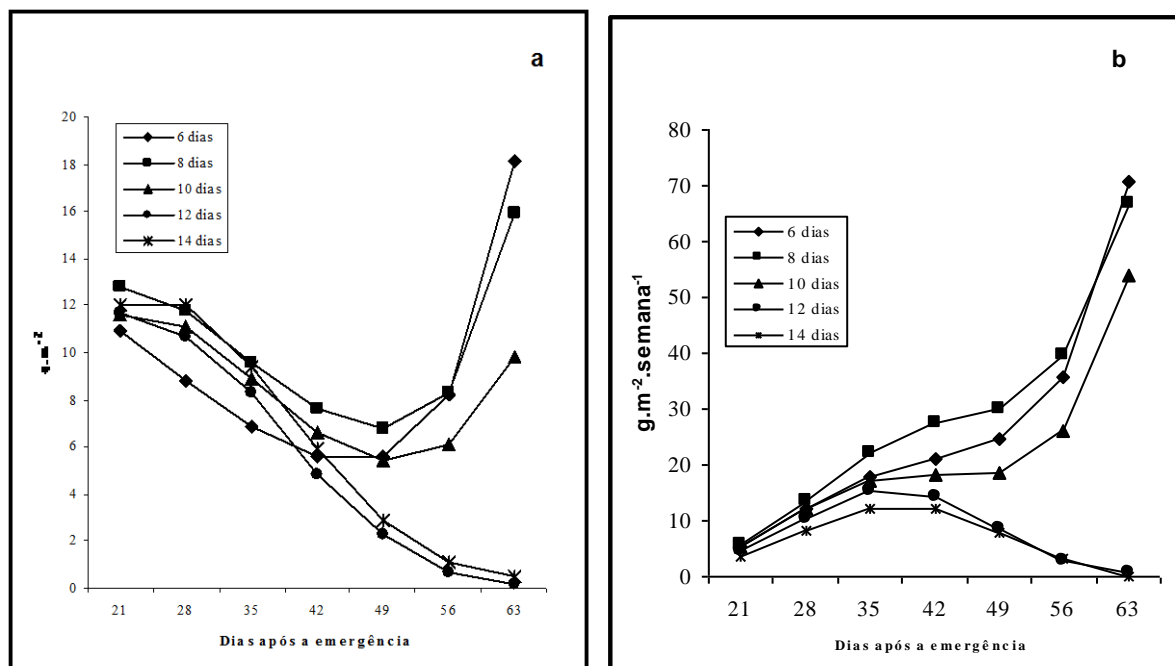


Figura 3. Taxa de assimilação líquida ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de folha. semana^{-1}) e taxa de crescimento da cultura ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de solo. semana^{-1}) a partir do 15º (DAE) após a semeadura.

Uma melhor distinção entre tratamentos foi evidenciada pela taxa de crescimento da cultura que, dependente do IAF e da TAL, integra as variações destes parâmetros, explicitando um importante contraste entre os tratamentos 10 e 12, como se verifica na figura 3b. Sem dúvidas, a extensão desta diferença não pode ser explicada apenas pelo aumento na

resistência estomática, uma vez que, somados os períodos de stress, houve um acréscimo de apenas dois dias para o tratamento 12, o que sugere a confirmação da hipótese da “soluto inibição” atuando sobre as plantas submetidas a mais extensos período de déficit de água.

Do ponto de vista prático, a relevância desta ocorrência relaciona-se ao caráter irreversível dos danos, o que deve ser levado em conta no estabelecimento dos intervalos limites, visando o aumento na eficiência do uso da água. As diferenças das maiores produtividades fisiológicas dos tratamentos 6 e 8, em relação ao 10, não se materializaram em resultados na produção econômica, como se verifica no Quadro 1. Mas quando se observa o índice de colheita se verifica que as plantas do tratamento 10 foram mais eficientes quanto à partição de assimilados em função do menor período de estresse a que foram submetidas durante a fase de crescimento dos órgãos reprodutivos. A importância desses resultados pode ser avaliada a partir da observação de que uma redução de intervalo de apenas dois dias, entre os tratamentos 12 e 10, produziu espigas 80% mais pesadas, aumentou a produção econômica em 72% e a eficiência do uso da água em 40%.

Quadro 1 – Características de produção da cultura do milho e eficiência do uso da água, em Kg de grãos por litro de água utilizada.

| Parâmetros de produção | Tratamentos | | | | | CV ¹ |
|--|-----------------------|----------|---------|----------|---------|-----------------|
| | 6 dias | 8 dias | 10 dias | 12 dias | 14 dias | |
| | | | | | | % |
| Peso médio das espigas, g | 159,1 ab ² | 156,9 ab | 194,3 a | 108,1 bc | 89,5 c | 16,7 |
| Número de grãos por espiga | 459,8 ab | 447,0 ab | 532,0 a | 358,0 ab | 293,0 b | 18,8 |
| Peso de 100 grãos, g | 34,6 a | 35,2 a | 36,5 a | 33,8 a | 31,3 a | 7,6 |
| Índice de Colheita, % | 50,7 ab | 49,1 b | 54,6 a | 51,0 ab | 49,1 b | 4,3 |
| Peso de grãos, kg ha ⁻¹ | 4.533 a | 4.050 ab | 4.560 a | 2.644 bc | 2.004 c | 18,5 |
| Efic. do uso da água, kg l ⁻¹ | 1/302 | 1/253 | 1/187 | 1/258 | 1/256 | --- |

¹ CV = coeficiente de variação.

² Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

Concluiu-se que um moderado déficit de água no solo diminuiu a taxa de crescimento da parte aérea, sem prejudicar, no entanto, a capacidade reprodutiva. A maior eficiência do uso da água foi obtida com o tratamento irrigado com a frequência de 10 dias, por ter produzido espigas 80% mais pesadas e um aumento na produção econômica em 72% quando comparado, com os demais tratamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F.H.; FERREIRO, M.A. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, n.2-3, p. 155-165, 1996.

BRADFORD, K.L.; HSIAO, T.C. Physiological responses to moderate water stress. In: LANGE, O.L. et al. **Encyclopedia of plant physiology: physiology plant ecology, water relations and carbon assimilation**. New York: Springer-Verlag, 1982, v.2, p. 263-324.

BOLAÑOS, J.; EDMÉADES, G.O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.48, n.1, p. 65-80, 1996.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Amsterdam, v. 42, n.234, p. 1-16. Jan. 1991.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. **Agronomy Journal**, Amsterdam, v. 52, p. 272-274, 1962.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERREIRA, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÕES, F.O.M. Produtividade de grãos de genótipos de milho (*Zea mays* L.) sob manejo diferenciado de irrigação e adubação. **Ciência Agrotécnica**, Santa Maria, v.24, n.3, p. 663-670, 2000.

KANG, S. et al. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.38, n.1, p. 69-76, 1998.

NOGUEIRA, A. et al. Growth analysis of chickpea (*Cicer arietinum*, L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.1, p. 430-435, 1994.

OTEGUI, M.E.; ANDRADE, F.H.; SUERO, E.E. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.40, n.2, p. 87-94, 1995.

PANDEY, R.K.; MARANVILLE, J.W.; CHETIMA, M.M. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 46, n.1, p. 15-27, 2000.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 33 p.

PEREIRA, L.S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.57, n.3, p. 175-206, 2002.

PORTES, T.A.; CASTRO, Jr., L.G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.3, n.1, p. 53-56, 1991.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 287-294, 1998.

SHARP, R.E.; DAVIES, W.J. Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. **Planta**, New York, v.147, p. 43-49, 1975.