

PRODUÇÃO DO MILHO SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO¹

JOSÉ OSÓRIO COSTA², LUIZ GONZAGA REBOUÇAS FERREIRA³ e FRANCISCO DE SOUZA⁴

RESUMO - Estudos em condições de campo foram conduzidos para determinar as respostas da cultura do milho a diferentes intensidades de estresse hídrico, tendo em vista orientar programas que visem ao desenvolvimento de práticas de irrigação adequadas às regiões semi-áridas. A cultivar Centralmex foi submetida a seis diferentes níveis de irrigação, usando um sistema de irrigação com aspersores em linha, em um solo de aluvião. Os tratamentos de irrigação T₁, T₂, T₃ e T₄ não induziram diferenças estatisticamente significativas em termos de produção de grãos e peso seco da parte aérea. A eficiência do uso de água aumentou levemente, com um moderado decréscimo nos níveis de irrigação, alcançando o valor mais alto no tratamento de irrigação T₄. Reduções subseqüentes nos níveis de irrigação induziram um decréscimo linear na eficiência do uso de água. A relação observada entre produção de grãos, peso da parte aérea, número de grãos por espiga, peso de 1.000 grãos, eficiência do uso de água e os tratamentos de irrigação indicaram que estudos subseqüentes de parâmetros fisiológicos, em condições de campo, são necessários para melhorar o conhecimento dos efeitos do estresse hídrico na produção de grãos de milho.

Termos para indexação: irrigação por aspersão, produtividade vegetal, eficiência do uso de água, *Zea mays*, função de produção.

YIELD OF CORN SUBJECTED TO DIFFERENT LEVELS OF WATER STRESS

ABSTRACT - Field studies were conducted to determine corn (*Zeamays* L.) response to different intensities of drought to guide programs for the development of improved irrigation management practices in semi-arid zones. Centralmex cultivar was subjected to six different levels of irrigation using a linesource sprinkler irrigation system in the field in an alluvial soil. Irrigation treatments T₁, T₂, T₃ e T₄ did not induce statistically significant differences in terms of grain yield and shoot dry weight. Water-use efficiency increased slightly with moderate decrease in the irrigation levels reaching the highest value at irrigation treatment T₄. Further reductions in irrigation levels induced a linear decrease in water-use efficiency. The relationships that occurred among grain yield, shoot dry weight, number of grains per ear, weight of 1.000 grains, water-use efficiency and irrigation treatments indicate that further study of physiological parameters under field condition may be useful in improvement knowledge corn grain yield as affected by drought stress.

Index terms: sprinkler irrigation, plant productivity, water-use efficiency, *Zea mays*, production function.

INTRODUÇÃO

O milho tem sido tradicionalmente cultivado no Nordeste do Brasil em condições de agricultura de sequeiro, estando sujeito aos elevados riscos causados pela distribuição irregular das precipitações pluviiais. Com a implantação de perímetros irrigados, o milho passou a ser cultivado com maior intensidade. Entretanto, para assegurar o sucesso na implantação de novas áreas, torna-se

necessário o estudo do consumo racional de água na cultura, para evitar o desperdício de insumos ou a ocorrência de estresse hídrico em fases críticas do seu desenvolvimento.

O objetivo principal dos estudos de adaptação das culturas às regiões semi-áridas é o aumento da produção associado ao uso racional e econômico da água. Para que uma planta utilize eficientemente a água disponível no solo é necessário que ela regule a perda de água, resultante da demanda evaporativa, em conformidade com o estágio de desenvolvimento no qual ela se encontra, e que o consumo de água presente seja de tal magnitude que assegure o atendimento de suas necessidades futuras (Turk & Hall 1980). Segundo Fischer & Tuner (1978), a tendência natural das culturas é manter a transpiração com o risco de completa

¹ Aceito para publicação em 15 de junho de 1988.

² Eng. - Agr., M.Sc., Dep. de Engen. Agríc., Univ. Fed. do Ceará, Caixa Postal 3038, CEP 60355, Fortaleza CE.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Engen. Agríc., Univ. Fed. do Ceará.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Dep. de Engen. Agríc., Univ. Fed. do Ceará.

exaustão da água disponível no solo, e ocorrência de baixos valores de potencial hídrico, com sérios danos estruturais e fisiológicos nos tecidos. Esta estratégia exibida pelas plantas minimiza a eficiência do uso da água, especialmente quando a cultura depende da umidade armazenada no solo (Passioura 1972). Por estas razões, na definição de esquemas adequados de irrigação, em particular para as regiões semi-áridas, é necessário conhecer o tipo de relação que existe entre evapotranspiração, medida direta ou indiretamente, e o nível de água disponível no solo. Esta relação pode ser definida estudando-se as variações dos diversos parâmetros que definem a produtividade biológica.

Este estudo foi conduzido em condições de campo, com os seguintes objetivos: a) determinar a produtividade do milho em diferentes regimes de disponibilidade hídrica; b) correlacionar a produção total de grãos com os níveis de água aplicada; c) determinar a eficiência de uso da água da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área irrigada da fazenda experimental Vale do Curu, de propriedade da Universidade Federal do Ceará, no período de outubro de 1982 a março de 1983.

O milho (*Zea mays* L.) foi plantado em 26 de outubro, com espaçamento de 0,9 m entre fileiras, e de 0,2 m entre plantas, resultando numa população de, aproximadamente, 45.000 plantas/ha. O solo é do tipo Aluvial Eutrófico.

A cultivar de milho plantada foi a Centralmex, por ser uma das mais cultivadas nas áreas irrigadas no Nordeste do Brasil.

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com seis repetições, sendo três blocos de cada lado da linha de aspersores. Os blocos tinham dimensões de 6 m x 18 m, e as parcelas, de 3 m x 6 m.

Para aplicação de água, foi usado um equipamento de aspersão disposto no campo segundo o "sistema de aspersão em linha", de acordo com metodologia desenvolvida por Hanks et al. (1976). Neste experimento, foram usados sete aspersores espaçados de 6 m. Após testes preliminares para o conhecimento da distribuição da precipitação, foi escolhido o aspersor SAMOTO, modelo SAGRA - AJ, de 4,4 de diâmetro do bico (Santo Amaro Motores Agrícola Ltda., São Paulo, Brasil), operando com 3,0 atm. Foi efetuada uma irrigação pré-plantio de 60 mm de lâmina e uma adubação de fundação de NPK (200-120-60). Adubação nitrogenada foi desdobrada e aplicada em três partes iguais no plantio, após o desbaste, e no início da floração. Para superar os efeitos dos ventos sobre a distribuição da água aplicada, foram feitas irrigações no-

turnas. Para o estabelecimento e uniformização da cultura nos estádios iniciais de crescimento, foram feitas irrigações leves e frequentes, totalizando 120 mm (entre 26 de outubro e 29 de novembro de 1982), utilizando-se do mesmo sistema de aspersão com espaçamento 6 m x 6 m. As medidas diárias de duas baterias de tensiômetros instalados às profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm controlavam os intervalos de irrigação. As irrigações foram reiniciadas quando o potencial hídrico do solo, nas parcelas de controle, atingia - 0,5 atm. Seis tratamentos de irrigação foram aplicados a fim de proporcionar níveis diferentes de disponibilidade de água no solo, sendo classificados como T₁ (controle), com as irrigações sendo reiniciadas quando o potencial hídrico do solo atingia - 0,5 atm; T₂, com a lâmina total aplicada correspondendo a 81,6 % de T₁; T₃, correspondendo a 72,5 % de T₁; T₄, correspondendo a 60,4 % de T₁; T₅, correspondendo a 46,4 % de T₁, e T₆, correspondendo a 34,6 % de T₁. As lâminas de irrigação aplicadas pelos tratamentos estão demonstradas na Tabela 1.

A colheita foi realizada 30 dias após a última irrigação.

Valores médios das temperaturas máxima e mínima, de chuva e de evaporação do tanque "Classe A", foram obtidos de uma estação evaporimétrica localizada a 500 m do local de plantio (Fig. 1). Durante o período de execução do experimento não ocorreu nenhuma chuva. Dois poços de observação e um dreno próximos ao local do experimento permitiram monitorar o lençol freático que se manteve à profundidade média de 2,5 m.

Como indicadores de produção da cultura do milho, foram determinados os seguintes parâmetros: peso total da parte aérea, peso total de grãos, índice de colheita, peso de 1.000 grãos por espiga, e eficiência de uso da água. O índice de colheita foi medido dividindo-se a produção econômica pela produção biológica e expressando-se em termos percentuais. Foi efetuada a análise de variância e utilizado o teste de Tukey para comparação entre médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produtividades biológica e econômica do milho em resposta aos diversos tratamentos de irrigação foram medidas, respectivamente, em termos de peso total da parte aérea e peso total de grãos (Tabela 2). Os tratamentos T₁, T₂, T₃, e T₄ induziram uma redução progressiva daqueles parâmetros à medida que diminuía o total de lâmina de água aplicada, não sendo, contudo, estatisticamente significativa. Entretanto, os tratamentos T₅ e T₆, que correspondiam, respectivamente, a 46,4% e 34,6% da lâmina de água de T₁, diferiram estatisticamente dos demais. Isto significa que a diminuição da lâmina de água aplicada nos tratamentos T₁ e T₄ causaram pequenas reduções na taxa de crescimento da parte aérea e peso total de grãos.

TABELA 1. Lâminas de irrigação aplicadas aos tratamentos durante o ciclo da cultura do milho, cultivar Centralmex.

Tratamento	Lâmina inicial (mm)	Lâmina aplicada (mm)		Variação entre os lados (mm)	Lâmina Média (mm)	Lâmina Total (mm)	Variação percentual em relação ao controle
		Lado direito	Lado esquerdo				
T ₁	180	339,9	341,3	1,4	340,6	520,6	100,0
T ₂	180	256,1	233,9	22,2	245,0	425,0	81,6
T ₃	180	196,8	198,4	1,6	197,6	377,6	72,5
T ₄	180	140,7	128,2	12,5	134,5	314,5	60,4
T ₅	180	58,9	63,6	4,7	61,4	241,4	46,4
T ₆	180	0,0	0,0	0,0	0,0	180,0	34,6

TABELA 2. Efeitos dos diferentes tratamentos de irrigação sobre a produtividade da cultura do milho cultivar Centralmex. Dados expressam valores médios obtidos em seis blocos.

Tratamento	Peso total da parte aérea (ton/ha)	Peso total de grãos (ton/ha)	Peso de 1.000 grãos (g)	Número de grãos de espiga	Comprimento médio da espiga (cm)	Índice de colheita (%)
T ₁	*15,4 a	6,3 a	314,2 a	380,2 a	15,9 a	40,7 a
T ₂	15,2 a	5,8 a	315,9 a	382,1 a	15,3 a	38,6 a
T ₃	14,9 a	5,5 a	314,3 a	319,4 a	14,2 ac	36,9 a
T ₄	12,3 a	4,7 a	314,5 a	288,6 a	15,2 a	37,9 a
T ₅	8,1 b	2,7 b	298,9 b	224,7 b	12,5 bc	32,8 ab
T ₆	4,4 b	1,0 b	252,4 b	142,4 b	11,1 b	20,9 b

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5%, de acordo com o teste de Tukey.

Provavelmente, isto ocorreu como resultado de graduais reduções da pressão de turgescência necessária ao processo de crescimento e translocação de fotoassimilados para a formação dos grãos. Possivelmente, nos tratamentos T₅ e T₆ ocorreram profundas alterações na fisiologia da planta, como fechamento dos estômatos, diminuição da atividade fotossintética, translocação de metabólicos e redução da taxa de crescimento das raízes, implicando menor absorção de água e elementos minerais. Estas hipóteses são reforçadas pelos valores de peso de 1.000 grãos, que seguem a mesma tendência de variação observada com relação ao peso total da parte aérea e peso total de grãos (Tabela 2).

O número de grãos por espiga não diferiu estatisticamente nos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄. Contudo, os tratamentos T₅ e T₆ induziram diferenças estatisticamente significativas entre si e em relação aos demais tratamentos (Tabela 2). O estresse hídrico severo, desenvolvido por es-

tes tratamentos, foi capaz de afetar o processo reprodutivo através do seu efeito no desenvolvimento floral e fertilização, o que concorreu para a redução global da produção da cultura. Estas observações são reforçadas pelos valores expressos através do índice de colheita que correlaciona a produção econômica (peso dos grãos) com a produção biológica (peso total da parte aérea) e demonstrados pela Tabela 2. Resultados semelhantes foram obtidos por Fernández & Laird (1957) para o milho.

Dentre os parâmetros empregados para medir produtividade biológica do milho, o comprimento médio da espiga foi o que menos sofreu reduções quantitativamente expressivas em relação ao controle (Tabela 2); mesmo assim, o tratamento T₆ diferiu dos demais tratamentos, à exceção do T₅. Esta observação indica que o comprimento médio da espiga é uma característica da planta, que só responde significativamente quando o estresse hídrico é muito severo.

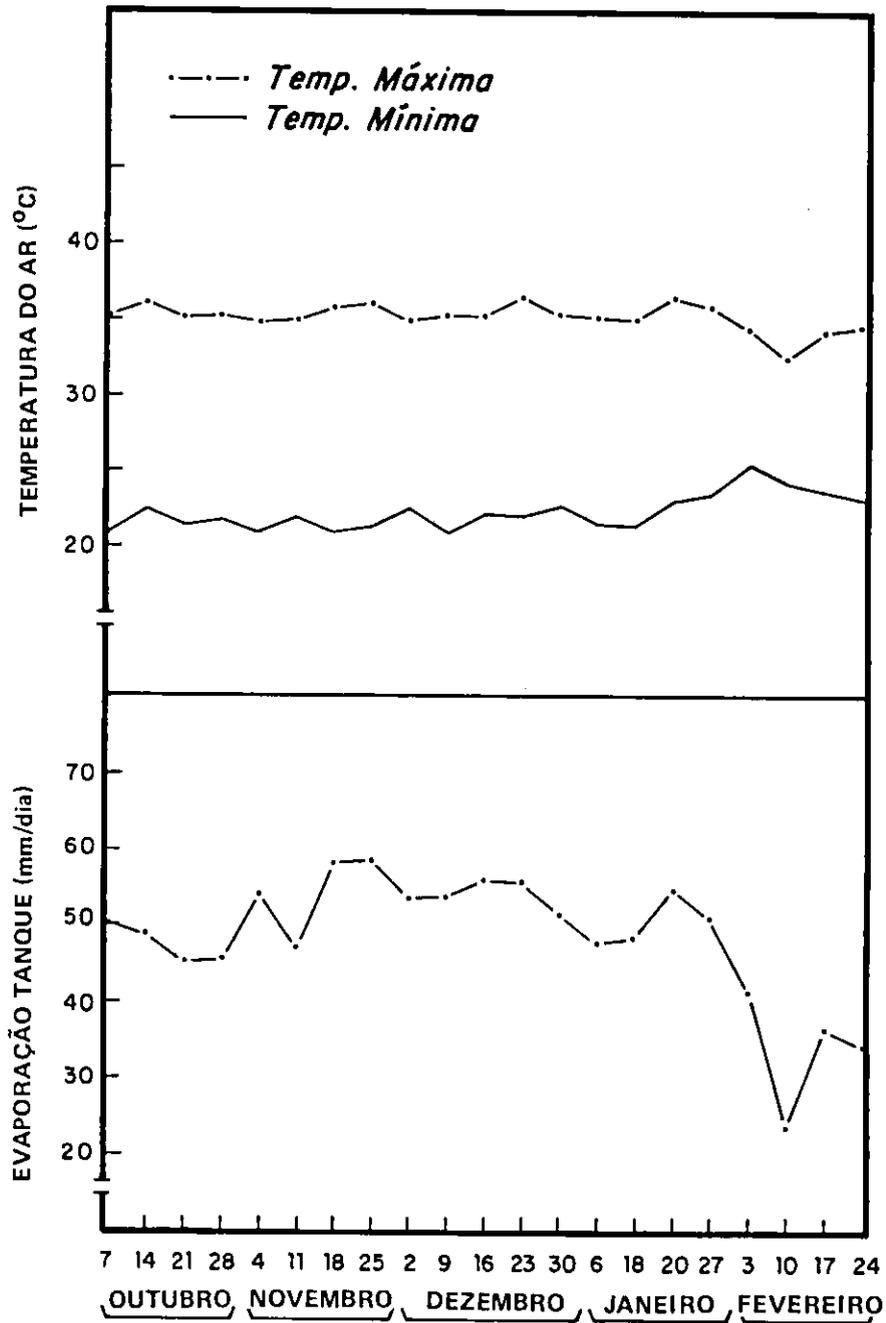


Fig. 1 Valores médios semanais das temperaturas máximas e mínimas do ar; B - Valores semanais da evaporação do tanque "Classe A".

Quando o suprimento de água é limitado e os custos de irrigação são elevados, é importante considerar a eficiência do uso da água da cultura. No presente estudo, o tratamento de irrigação, que consistia na menor lâmina de água (T₆) e que correspondia a somente 34,6% do tratamento controle (T₁), apresentou o valor mais baixo de eficiência do uso da água (Tabela 3). À medida que aumentava a lâmina total de água aplicada, as taxas de eficiência do uso da água cresciam, seguindo quase uma tendência linear. Contudo, a partir do tratamento de irrigação T₄, a eficiência de uso de água reverteu esta tendência, sofrendo um decréscimo linear, com o tratamento T₁ alcançando o valor mais baixo do que o observado em T₅ (Fig. 2). Por conseguinte, o tratamento T₄ se mostrou como o mais eficiente em termos de uso de água pela cultura do milho, nas condições experimentais desse estudo.

Para facilitar a compreensão, os valores de eficiência de uso de água e os pesos totais de grãos para os diversos tratamentos de irrigação foram expressos conjuntamente na Fig. 2.

O tratamento controle T₁ induziu a maior produção de grãos, com 6,3 ton/ha (Tabela 2). No tratamento T₂, embora tenha sido aplicada uma lâmina total de água que corresponde a 81,6% de T₁, induziu uma produção de grãos de 5,8 ton/ha, que representou 92,4% do obtido em T₁. O tratamento T₃, empregando uma lâmina total de irrigação de 72,5% em relação ao T₁, induziu uma produção total de grãos de 87,3% em relação ao obtido em T₁. O tratamento de irrigação T₄ foi aquele onde a eficiência do uso da água foi mais alta. Nesse tratamento, embora tenha sido aplicada a lâmina total de água que correspondia a somente 60,4% da de T₁, observou-se, contudo, uma redução de somente 25,6% na produção total de grãos em relação à obtida no tratamento controle T₁. O tratamento T₅ (46,4% da lâmina total de T₁) causou uma redução na produção total de grãos de 57,4% em relação à do controle. A produção total de grãos observado no tratamento T₆ correspondeu somente a 15,5% da obtida no tratamento T₁.

As variações na produção total de grãos nos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄ não foram estatística-

mente significativas entre si (Tabela 2). Provavelmente, os decréscimos de produção observados nos tratamentos T₂, T₃ e T₄ deveram-se às reduções progressivas da área foliar das plantas, conforme evidenciado pelos dados de peso total da parte aérea da Tabela 2. Nos tratamentos T₅ e T₆ além de reduções significativas na área foliar das plantas devem ter-se verificado alterações fisiológicas mais profundas, como por exemplo, fechamento dos estômatos, o que acarretou diminuição da atividade fotossintética e conseqüentemente uma menor disponibilidade de fotoassimilados para serem translocados para os grãos em formação. A baixa umidade do solo provavelmente induziu um menor desenvolvimento do sistema radicular, diminuindo o volume de solo a ser explorado para absorção de água e elementos minerais.

TABELA 3. Eficiência do uso da água da cultura do milho calculada como a média de seis blocos para cada tratamento de irrigação.

Tratamento	Eficiência do uso da água (kg/ha/mm)
T ₁	12,13
T ₂	14,15
T ₃	15,35
T ₄	16,31
T ₅	13,06
T ₆	7,30

A lâmina de água aplicada em cada tratamento foi considerada como aquela medida em que cada coletor durante as irrigações. A umidade de solo no início do experimento não influenciou nos cálculos da lâmina d'água total aplicada desde que o trabalho de instalação foi iniciado quatro meses após a estação chuvosa. A umidade residual no final do experimento também não foi considerado, pelo fato de a colheita ter sido efetuada 30 dias após a última irrigação.

A equação que representa o rendimento (peso total de grãos, ton/ha) em função da lâmina de irrigação total (m), para as condições do experimento, é a seguinte.

$$y = -6,63 + 51,87x - 52,26x^2 \text{ (eq. 1)}$$

onde:

$$y = \text{peso total de grãos (ton/ha) (Tabela 2)}$$

$$x = \text{lâmina de irrigação total (m) (Tabela 1).}$$

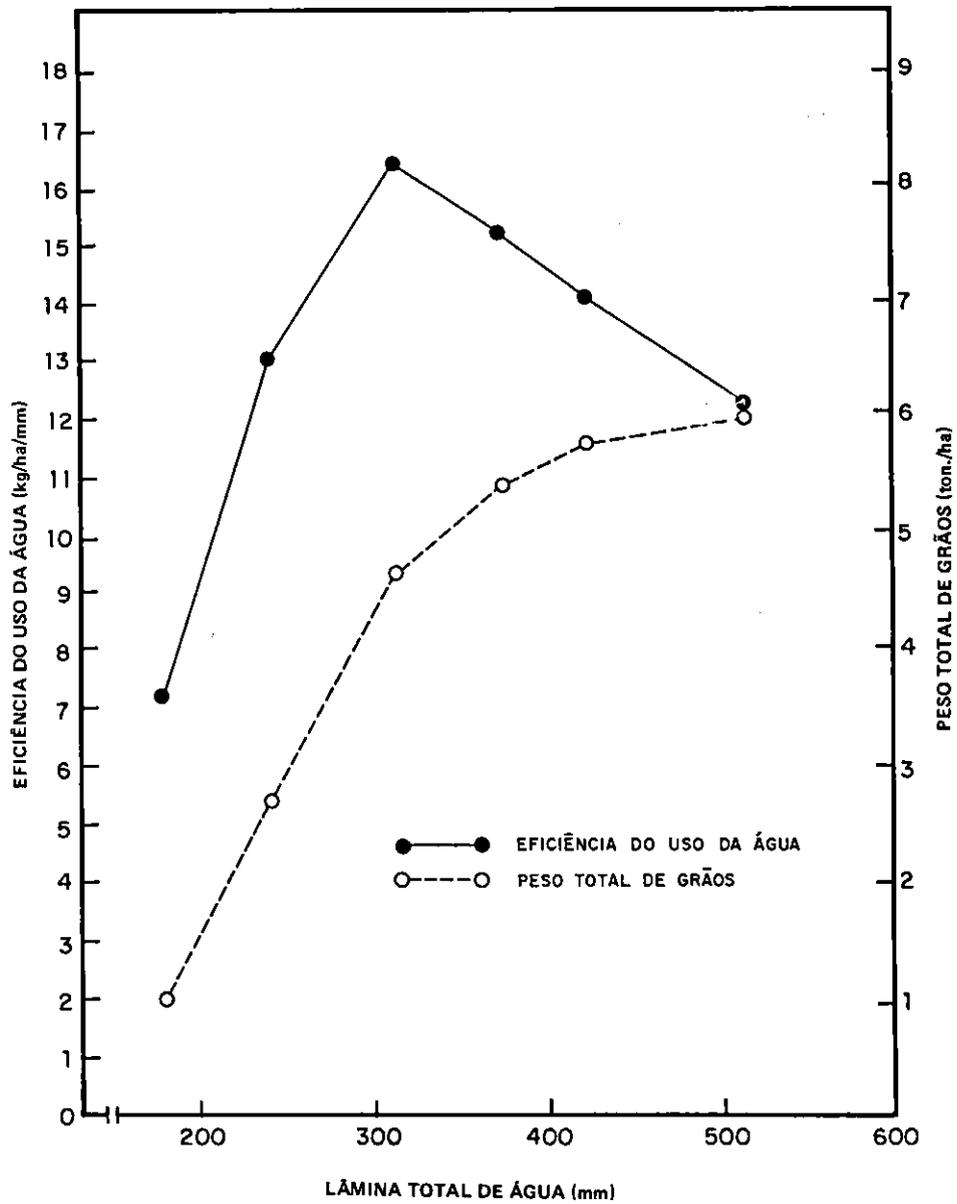


Fig. 2. Eficiência de uso de água e peso total de grãos de milho em relação às diversas lâminas de água aplicadas durante o ciclo da cultura.

Esta equação, obtida através de uma análise de regressão ($R^2 = 0,99$), permite fazer uma análise econômica do lucro máximo a ser alcançado, uma vez que se disponha de informações sobre o preço da água de irrigação e do produto. A pesquisa para gerar a função de produção de culturas irrigadas vem sendo muito enfatizada nos últimos anos, em virtude de permitir uma melhor alocação dos recursos (Grimes & Dickens 1977; Stewart & Hagan 1973).

CONCLUSÕES

1. Os tratamentos de irrigação T_1 , T_2 , T_3 e T_4 não diferiram entre si em termos de peso seco total da parte aérea, produção total de grãos, peso de 1.000 grãos e número de grãos por espiga.

2. As pequenas reduções na área foliar não foram suficientes para afetarem significativamente os processos produtivos das plantas.

3. Os tratamentos T_5 e T_6 , que implicaram baixo nível de disponibilidade de água no solo, causaram grandes reduções nos parâmetros de produtividade da cultura do milho, possivelmente por associarem reduções de área foliar, com diminuições dos processos fisiológicos ligados à atividade fotossintética e de translocação de solutos para os grãos.

4. A ocorrência do estresse hídrico na fase reprodutiva muito provavelmente afetou os processos ligados à polinização e fecundação das flores.

5. O tratamento de irrigação T_4 apresentou os valores mais elevados de eficiência do uso da água, embora tenha correspondido, em termos de lâmina total de água aplicada, a somente 60,4% daquela constante do tratamento controle (T_1).

REFERÊNCIAS

- FERNÁNDEZ, G. & LAIRD, R.J. Riego el maíz espigando. México, Sec. Agricultura e Ganadería, 1957. (Boletín Técnico, 4)
- FISCHER, R.A. & TUNER, N.C. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Ann Rev. Plant. Physiol.*, 29:277-317, 1978.
- GRIMES, D.W. & DICKENS, W.L. Irrigation water management of cotton for a planting configuration and variety conductive to sort-season development. California. Univ. of California, Dep. of water Science and Eng., 1977. 73p.
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P., WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation - crop production studies. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 40:426-9, 1976.
- PASSIOURA, J.B. The effect of root geometry on the yield of wheat growing on stored water. *Aust. J. Agric. Res.*, 23:745-52, 1972.
- STEWART, J.I. & HAGAN, R.M. Functions to effect of water deficits. *J. Irrig. Drain. Div. Proc. ASCE.*, 99:421-39, 1973.
- TURK, K.J. & HALL, A.E. Drought adaptation of cowpea IV. influence of drought on water use, and relations with growth and seed yield. *Agron. J.*, 72:434-9, 1980.