

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROGRAMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR EM MILHO

MORETHSON RESENDE¹ & ANTÔNIO CARLOS OLIVEIRA¹

¹*Embrapa milho e Sorgo. Rodovia 424, km 45 – cx. postal 151 – CEP 35701 – Sete Lagoas, MG. Email: resende@cnpmc.embrapa.br; oliveira@cnpmc.embrapa.br*

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.4, n.2, p.205-214, 2005

RESUMO - Uma das estratégias mais simples, embora pouco precisa, para programar irrigações é utilizar a média da evapotranspiração de referência (ET_o), de uma série histórica de dados climáticos e através do método de balanço de água no solo. Com isso, é possível gerar um calendário de irrigações, com as respectivas datas e lâminas de água a serem aplicadas durante o ciclo da cultura. Desenvolveu-se um trabalho, com a cooperação da UFMG, com o objetivo de aumentar a precisão desse método, utilizando-se Redes Neurais Artificiais (RNAs) para ajustar e prever a ET_o diária, com base em uma série histórica de dados climáticos. Um experimento foi conduzido em duas épocas de plantio (27 de janeiro de 2003 e 02 de setembro de 2003), para testar a precisão desse método em relação ao uso da média de ET_o, da ET_o predita por RNAs sem ajuste, da ET_o calculada diariamente e da evaporação da água do tanque Classe A (ECA), através do balanço de água no solo e do uso de tensiômetros. O manejo das irrigações pelo balanço de água no solo, utilizando-se a ET_o estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão, utilizando-se dados de ET_o ajustados e preditos por RNAs e utilizando-se a ECA, proporcionou as maiores produtividades de milho em ambos os experimentos. O manejo utilizando-se valores médios de ET_o e valores de ET_o preditos e não ajustados de uma série histórica de dados climáticos causou redução de produtividades de milho, em relação ao padrão.

Palavras-chave – manejo de irrigação, redes neurais, evapotranspiração, cultura do milho.

COMPARISON OF DIFFERENT IRRIGATION SCHEDULING STRATEGIES ON MAIZE

ABSTRACT – Although it lacks precision, one of the most simple strategies for irrigation scheduling is the reference evapotranspiration average (ET_o), estimated from historical climate data and through the soil water budget method. This permits a prediction of time and amount of water to be applied during the crop cycle. In cooperation with UFMG a work was carried out to increase the precision of this method by using Neural Artificial Network (NAN) to adjust and predict daily ET_o from a historical climate data base. An experiment was conducted with two planting dates, (01/27/2003 and 09/02/2003) in order to test the precision of this method in relation to the daily estimated ET_o (standard), the average ET_o, the predicted ET_o by using NAN without adjustment and ET_o estimated by Evaporation of a Class A pan (ECA), using soil water balance in all ET_o alternatives. The daily estimated ET_o (standard), adjusted and predicted daily ET_o and ET_o estimated by ECA, brought the highest productivity. The irrigation scheduling using average ET_o

and one that used predicted ETo by using NAN without adjustment caused reduction in the productivity when compared with the standard treatment.

Key words: irrigation scheduling, neural network, evapotranspiration, maize crop

A irrigação comporta-se como uma ciência exata até que a água seja derivada do canal ou sai do aspersor ou gotejador. Após a infiltração da água no solo, para posterior absorção pelas raízes e transpiração pelas plantas, vários termos e expressões são utilizados para tentar explicar um sistema extremamente complexo, que envolve os diferentes tipos de solo, de clima e de planta. Há inúmeras propostas de equipamentos e formas de medir e estimar o conteúdo de água no solo e na planta, o que atesta a inexistência de um procedimento de aceitação geral sobre uma forma precisa de programa as irrigações, ao longo do ciclo das culturas.

Após a implantação de um projeto de irrigação, o produtor necessita ser orientado quanto à programação de suas irrigações, para que ele possa obter o máximo rendimento da atividade agrícola com mínima degradação ambiental. Isso, normalmente, não tem acontecido.

Em 1993, a CEMIG, em convênio com a Universidade Federal de Viçosa, desenvolveu um projeto de otimização de energia e concluiu que as perdas de água, em onze pivôs avaliados, chegaram a 17,8% (CEMIG, 1993). Em trabalho semelhante, em aspersão convencional, com 257 irrigantes, concluiu-se que as irrigações eram deficientes em 75% das propriedades, foram adequadas em 12,5% e foram em excesso em 12,5%. Concluiu-se ainda que, em 50% dos casos, as irrigações foram feitas antes da hora recomendada, em 37,5% foram realizadas no momento certo e em 12,5% das propriedades as irrigações foram realizadas tardiamente (CEMIG, 1996).

A sustentabilidade das áreas irrigadas, a incorporação e a conseqüente expansão de

novas áreas devem estar associadas ao aumento de produtividade e à preservação dos recursos naturais. Há indicações de que 63% dos lotes em sistemas de irrigação no norte do Estado de Minas Gerais estavam aplicando excesso de água e que as dotações de irrigação eram constantes e iguais às determinadas no projeto para o ano todo e às vezes superiores às requeridas nos meses de maior demanda evaporativa (Almeida, 1997). Estima-se que, em média, a eficiência de irrigação, no mundo, é de 45% e as maiores perdas são devido ao inadequado manejo de irrigação (Christofidis, 1999). Quando se procura racionalizar o uso da água e preservar o meio ambiente, é de fundamental importância estimar com certo grau de precisão o quanto e quando irrigar.

Considerando-se os altos custos e a deficiência generalizada de equipamentos de controle das condições de umidade do solo, fatores da planta e atmosfera, o método do balanço de água no solo constitui uma estratégia viável de se programar as irrigações (Steele *et al.*, 2000), utilizando-se dados das características físicas do solo e do requerimento diário de água pela cultura, que pode ser determinado pela estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), pelo método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), que é reconhecido internacionalmente como um dos mais precisos (Jensen *et al.*, 1990 Kumar *et al.*, 2002) e pelo coeficiente da cultura (Kc) (Doorenbos & Pruitt, 1976). A programação de irrigação utilizando o método do balanço de água no solo é feita determinando-se a ETo diariamente, o que, além de trabalhoso, necessita da coleta diária de dados climáticos. Esse mesmo método também vem sendo usado, utilizando-se

valores médios de ETo diários de uma série histórica de dados climáticos, para prever futuras irrigações. Essa estratégia, embora muito simples de ser utilizada, não é recomendável em condições de alta variabilidade das variáveis climáticas (Smith *et al.*, 1985 e Resende *et al.*, 2002). Visando melhorar a precisão, foi desenvolvido o Método Resende (Resende, 2004) para se programar as irrigações, através do ajuste dos valores de ETo para os dias chuvosos de uma série histórica de dados climáticos e a predição de valores futuros de ETo (Resende *et al.*, 2000, 2002, 2003), utilizando-se Redes Neurais Artificiais (RNAs), através da metodologia desenvolvida por Souza *et al.* (2002). As RNAs vem sendo largamente utilizadas em diversos trabalhos

ligados a modelos envolvendo o tema água (Kumar *et al.*, 2002).

O objetivo deste trabalho foi comparar, em condições de campo, vários métodos recomendados para manejar irrigações na cultura do milho com o método desenvolvido por Resende *et al.* (2002).

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos em duas épocas de plantio: 27 de janeiro de 2003 e 02 de setembro de 2003, na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG em um solo classificado como latossolo vermelho de textura argilosa, cujas características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Características físicas e químicas do solo da área experimental

Discriminação	Unidade	Valor/profundidade do solo (cm)	
		0 - 20	20 - 40
A - Química			
pH em H ₂ O	-	5,7	5,4
H + Al	cmolc/dm ³	3,78	4,41
Ca	cmolc/dm ³	4,23	2,11
Mg	cmolc/dm ³	0,43	0,21
K	mg/dm ³	31	11
P	cmolc/dm ³	14	4
M.O.	dag/kg	2,92	2,39
B - Física			
Areia grossa	%	5	5
Areia fina	%	5	5
Silte	%	26	21
Argila	%	64	69
Densidade aparente	g/cm ³	1,06	0,96
Conteúdo de água a 10 kPa	Vol %	36,15	33,80
Conteúdo de água a 70 kPa	Vol %	34,66	31,63
Conteúdo de água a 1500 kPa	Vol %	24,21	25,58

No plantio de janeiro, em sistema de plantio direto, utilizou-se o milho híbrido simples BRS1010. A adubação de plantio foi feita com 400 kg ha⁻¹ de 08-28-16+Zn e a de cobertura, com 110 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. No plantio de setembro, também em sistema de plantio direto, utilizou-se o mesmo híbrido simples BRS1010. A adubação de plantio foi feita com 300 kg ha⁻¹ de 08-28-16+Zn e a de cobertura, com 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio. Em ambos os experimentos, foram utilizados herbicidas e inseticidas para o controle de plantas daninhas e da lagarta-do-cartucho, respectivamente.

O delineamento experimental dos dois experimentos foi o de blocos casualizados, com três repetições e seis tratamentos. Nos cinco

primeiros tratamentos, as irrigações foram feitas segundo o método do balanço de água no solo, utilizando-se dados da caracterização física do solo (Tabela 1) e dados de evapotranspiração de referência (ET_o) de uma série histórica de dados climáticos (de 1958 a 2003) e de evaporação (E) diária de Sete Lagoas, MG, (Tabela 2). Nesses tratamentos, o momento de efetuar as irrigações foi estimado quando as lâminas de água armazenadas até 40 cm de profundidade do solo, entre 10 e 70 kPa, foram consumidas pela evapotranspiração da cultura, segundo o balanço de água no solo. O último tratamento, T6, foi irrigado toda vez que a média das leituras de três tensiômetros, instalados a 20 cm de profundidade, indicavam tensões entre 60 e 70 kPa.

TABELA 2. Resumo dos tratamentos

Tratamentos	Descrição dos tratamentos
T1*	Uso dos valores ET _o ajustada e preditos, utilizando série histórica de dados
T2*	Uso dos valores ET _o média, utilizando série histórica de dados
T3*	Uso dos valores ET _o apenas preditos, utilizando série histórica de dados
T4*	Uso dos valores ET _o apenas preditos ao longo do experimento
T5**	Uso dos valores ET _o estimados segundo valores diários de ECA
T6***	Uso de tensiômetros

* - Valores de ET_o (evapotranspiração de referência) estimados segundo o método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

** - Valores de ET_o estimados diariamente com base nos valores de E (evaporação) do tanque Classe A (Doorenbos & Pruitt, 1976).

*** - Irrigações feitas quando as leituras de tensiômetros, a 20cm de profundidade, no solo, indicavam de 60 a 70 kPa

Em todos os tratamentos, as lâminas de água aplicadas foram estimadas para elevar o teor de umidade do solo, até 40 cm de profundidade, ao valor correspondente a 10 kPa (capacidade de campo). As irrigações foram realizadas utilizando-se quatro aspersores setoriais, instalados nos cantos de cada parcela de 12m x 12m, previamente calibrados, e o volume de água aplicada em cada parcela foi determinado como a média do volume coletado em quatro coletores instalados no centro de cada parcela, distanciados 4m entre si. Os dados fenológicos do milho, bem como da colheita, foram obtidos no interior da parcela, de uma área útil de 7m x 7m. A coleta de plantas para determinação da matéria seca total foi feita em 1,0m, 0,6m e 0,5m da linha de plantio, semanalmente. A colheita foi feita em 03/07/2003 e 22/01/2004, para os experimentos de janeiro e setembro, respectivamente, utilizando-se várias fileiras da área útil, totalizando 20m de linha.

Resultados e Discussão

As Figuras 1 e 2 mostram os valores de ETo, estimados segundo três estratégias utilizadas, nos tratamentos T1, T2 e T4.

Observa-se, nas Figuras 1 e 2, que os valores de ETo do tratamento T1 superam os valores de ETo do tratamento T2, estimados pela média. Por outro lado, é possível observar a grande variabilidade dos valores de ETo diários, no tratamento T4, calculados diariamente. No plantio de janeiro (Figura 1), as curvas de ETo ajustada e predita e ETo média vão se aproximando cada vez mais, do plantio até a colheita em julho, em consequência da redução dos dias chuvosos da série histórica, e, conseqüentemente, menos ajustes dos dados foram necessários com o passar do tempo. A mesma tendência, mas de forma inversa, ocorreu no plantio de setembro, em que as curvas estavam próximas, por ocasião do plantio, e se afastaram com o tempo, até a colheita, devido ao aumento de dias chuvosos na série histórica, para se efetuarem os ajustes.

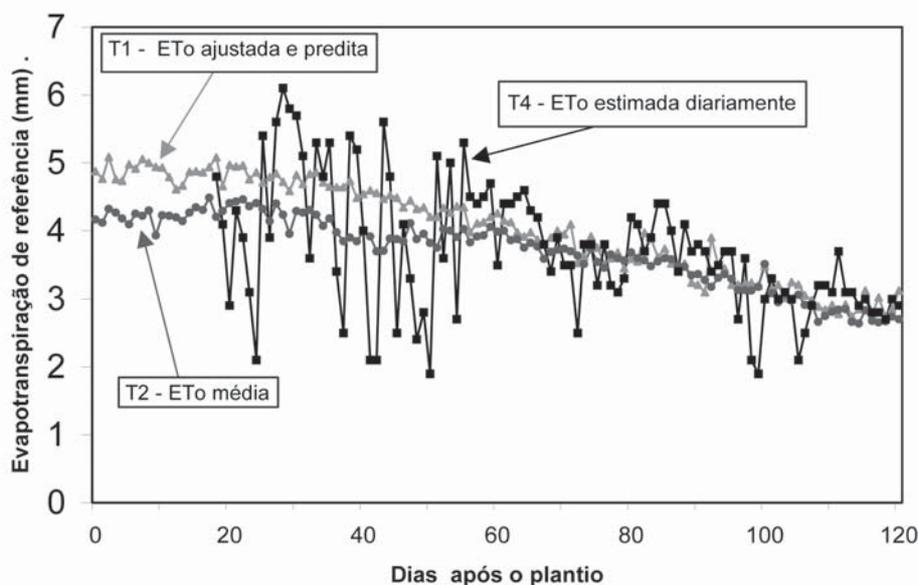


FIGURA 1. Comparação de dados de evapotranspiração de referência (ETo), dos tratamentos T1, T2 e T4, durante o ciclo do milho, no plantio de janeiro

As Figuras 3 e 4 mostram a evolução do acúmulo de matéria seca na palha e na espiga ao longo do ciclo da cultura, no plantio em setembro. É possível observar que houve uma tendência de

os tratamentos T4 e T1 apresentarem maiores valores de matéria seca, tanto da palha quanto da espiga, a partir do terço superior do ciclo da cultura, enquanto o tratamento T2 apresentou menores valores.

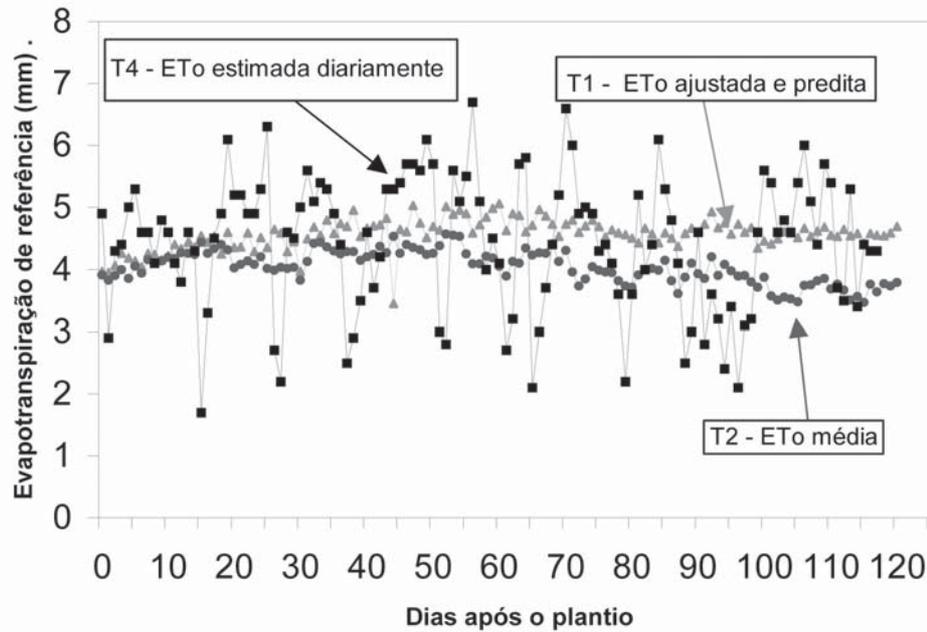


FIGURA 2. Comparação de dados de evapotranspiração de referência (ETo), dos tratamentos T1, T2 e T4, durante o ciclo do milho, no plantio de setembro.

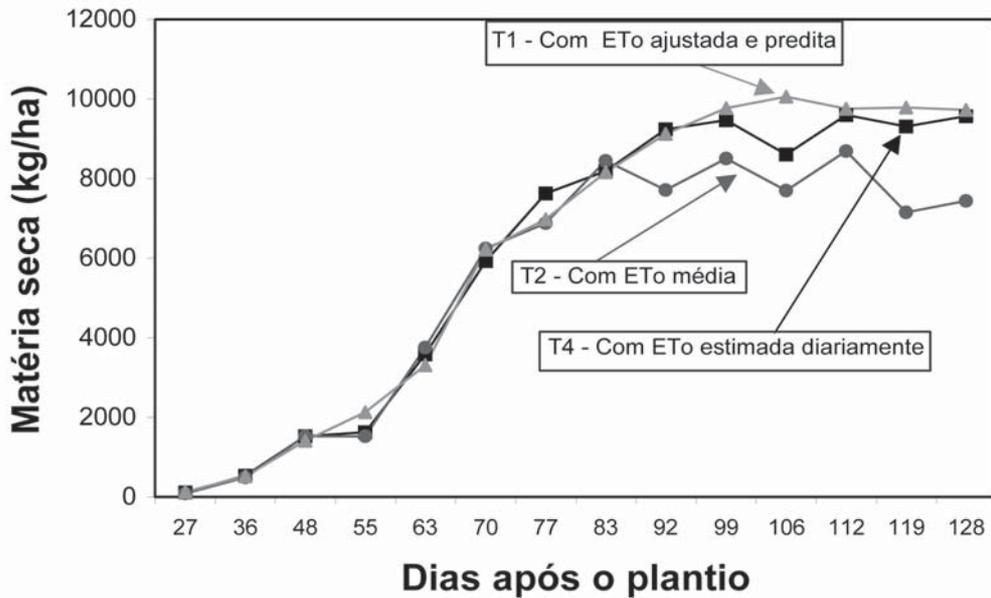


FIGURA 3. Acúmulo de matéria seca na palha de milho ao longo do ciclo, nos tratamentos T1, T2, e T4, no plantio de setembro

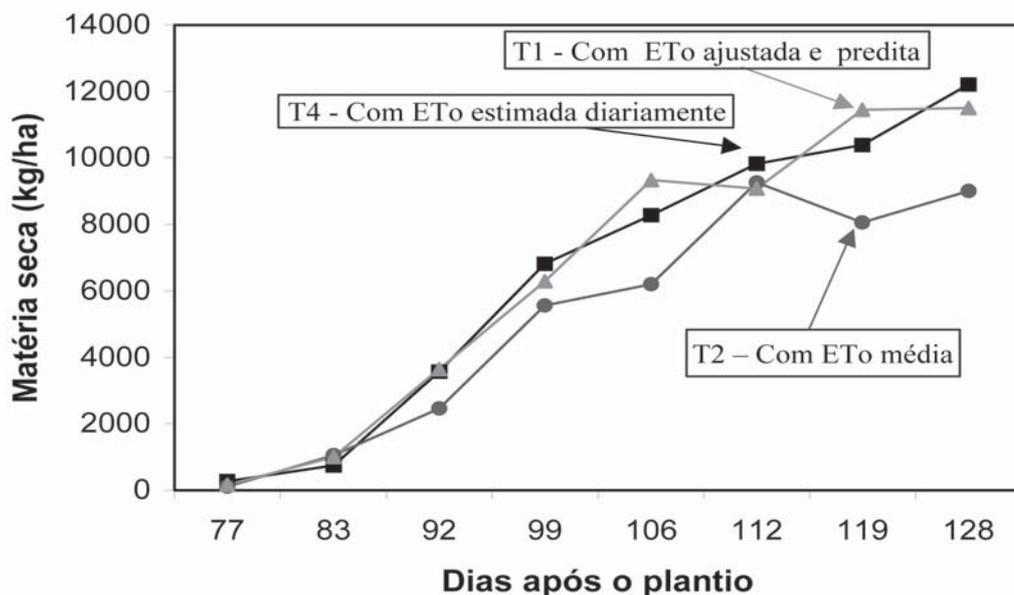


FIGURA 4. Acúmulo de matéria seca na espiga de milho ao longo do ciclo, nos tratamentos T1, T2 e T4, no plantio de setembro

O comportamento do acúmulo de matéria seca nos diversos tratamentos segue a mesma tendência do total de água aplicado nas irrigações, bem como do número de irrigações realizadas em cada tratamento (Tabela 3).

TABELA 3. Produção média de grãos de milho (kg ha⁻¹), total de água aplicado (mm) e número de irrigações, em cada tratamento.

Tratamentos	Plantio de janeiro			Plantio de setembro		
	Produção de grãos (kg/ha)	Água aplicada (mm)	Número de irrigações feitas	Produção de grãos (kg/ha)	Água aplicada (mm)	Número de irrigações feitas
T4 - Uso de ETo** apenas predita	5688,9a*	232,1	6	7026,7ab	180,9	5
T1 - Uso de ETo ajustada e predita	5612,7ab	245,9	7	7194,0a	167,4	5
T6 – Uso de tensiômetros	5561,7ab	232,3	6	6037,7c	73,9	2
T5 - Uso de ETo estimados segundo valores diários de ECA	5272,9ab	229,1	7	6830,0ab	176,5	5
T2 - Uso de ETo média	4801,6bc	178,2	5	6485,0abc	121,4	3
T3 - Uso de ETo apenas predita	4259,3c	205,1	5	6266,7bc	125,5	3
C.V. (%)	8,76			6,31		

* Médias seguidas da mesma letra não se diferem significativamente, ao nível de 5%, pelo teste LSD (least significant difference)

** Evapotranspiração de referência

A Tabela 3 apresenta as produções médias de grãos para os tratamentos relativos aos experimentos, com plantios em janeiro e setembro. Neste trabalho, o tratamento T4 foi considerado como referência, uma vez que o método de balanço de água no solo, usando-se a ETo, calculada diariamente pelo método de Penman-Monteith, é considerado o mais preciso. Observa-se que o T4 foi o primeiro e o segundo mais produtivo nos experimentos de janeiro e setembro, respectivamente, não diferindo estatisticamente dos tratamentos T1 e T5, em ambos os plantios. Observa-se, também, que os tratamentos T2 e T3 não diferiram estatisticamente, entre si, em ambos os plantios. Ambos obtiveram menores produtividades do que o tratamento T4, no plantio de janeiro, e menores que o T1, no plantio de setembro.

O aumento do número de irrigações, bem como da lâmina total de água aplicada, em cada tratamento, tendeu a se relacionar com o aumento da produtividade de grãos dos respectivos tratamentos (Tabela 3). Esses resultados indicam que a programação de irrigação pelo método do balanço de água no solo, utilizando-se a média da ETo (T2) ou a predição da ETo, utilizando RNAs de uma série de dados climáticos (T3), afetou negativamente a produtividade do milho, quando comparado com o uso da ETo estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith, (T4), pelo uso da evaporação de água do tanque classe A (T5) ou pelos dados de ETo ajustados e preditos (T1), segundo metodologia de Resende *et al.* (2002). Resultados semelhantes foram conseguidos por Resende *et al.* (2003), em trabalho de simulação, utilizando as estimativas de ETo, conforme feito para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, para cinco épocas de plantio, por ano, durante 12 anos, para as condições de Sete Lagoas, MG.

Observa-se pelos dados de produtividade apresentados na Tabela 3, que o tratamento T6 não diferiu estatisticamente do T4 no plantio de janeiro; no entanto, foi o que apresentou a menor produtividade no plantio de setembro. Esse resultado pode ter sido devido à troca das rolhas de origem francesa por rolhas nacionais, nos tensímetros, o que pode ter permitido a entrada de ar pelos orifícios da agulha, acusando tensões de água no solo inferiores às que realmente ocorriam.

Conclusões

O manejo das irrigações pelo balanço de água no solo, utilizando a ETo estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith, considerado como padrão, e utilizando valores de ETo ajustados e preditos por Redes Neurais Artificiais, com base em uma série histórica de dados climáticos de 45 anos, proporcionou as maiores produtividades de milho, nos plantios de setembro e janeiro, nas condições de Sete Lagoas, MG.

O manejo das irrigações pelo balanço de água no solo, utilizando valores médios de ETo calculados pelo método de Penman-Monteith, de uma série histórica de dados climáticos de 45 anos, determinou redução de produtividade de milho no plantio de janeiro, em relação ao uso de ETo estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith, nas condições de Sete Lagoas, MG. Houve tendência semelhante no plantio de setembro.

O método do balanço de água no solo, utilizando valores de ETo preditos e não ajustados previamente por Redes Neurais Artificiais, determinou redução de produtividade de milho no plantio de janeiro, em relação ao uso de ETo estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith, nas condições de Sete Lagoas, MG.

Houve tendência semelhante no plantio de setembro

O uso dos valores de ETo diários, ajustados e preditos por Redes Neurais Artificiais, usando-se ETo estimada através de dados climáticos de uma série histórica, além de ser de fácil obtenção, permite estabelecer um calendário das irrigações antes mesmo do plantio, com a mesma precisão do uso de ETo estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith.

Literatura Citada

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, F. T. **Avaliação dos sistemas de irrigação pressurizados e do manejo da água na cultura da banana no Projeto Gorutuba**. 1997. 100 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CEMIG. **Estudo de otimização energética em irrigação por aspersão convencional**. Relatório final Belo Horizonte, 1996. 26 p.
- CEMIG. **Estudo de otimização energética: setor irrigação - pivô central**. Belo Horizonte, 1993. 22 p.
- CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: Universidade Federal de Brasília; Centro de Desenvolvimento Sustentável, 1999. 34 p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 1976. 194 p.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, (ASCE -Manual and Report on Engineering Practice, 70).
- KUMAR, M.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R.; WALLENDER, W. W.; PRUITT, W. O. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 128, n. 4, p. 224-233, 2002.
- RESENDE, M. Metodologia para corrigir, prever e disponibilizar a evapotranspiração de referência, através de redes neurais artificiais, para racionalização de práticas de manejo de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **A inovação tecnológica e a competitividade no contexto dos mercados globalizados**: resumos. Sete Lagoas: ABMS, Embrapa Milho e Sorgo, Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p. 120.
- RESENDE, M.; SOUZA, L. M.; CAMINHAS, W. M.; PATARO, C. D. M. e FARIA, C. M. Utilização de redes neurais artificiais na correção e predição da evapotranspiração para programação de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABID, 2002. CD-ROM.
- RESENDE, M.; COUTO, L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Manejo de irrigação. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. (Ed.). **A cultura do milho irrigado**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. cap. 5, p. 265-301.
- RESENDE, M. Método Resende: uma estratégia simples e precisa para se programar irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25., SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO,

SPODOPTERA FRUGIPERDA,1., 2004, Cuiabá. **Da agricultura familiar ao agronegócio: tecnologia, competitividade e sustentabilidade: [resumos expandidos]**. Sete Lagoas: ABMS, Embrapa Milho e Sorgo, Empaer, 2004. CD-ROM. Seção Palestras.

SMITH, R. C. G.; STEINER, W. S.; MEYER, W. S.; ERSKINE, D. Influence of season to season variability in weather on irrigation scheduling of wheat: a simulation study . **Irrigation Science**, Berlin, v. 6, p. 241-251, 1985.

SOUZA, L. M.; FARIA, C. M.; PATARO, C. D. M.; RESENDE, M.; CAMINHAS, W.M. Desenvolvimento de metodologia para ajuste e predição de taxa de evapotranspiração utilizando redes neurais artificiais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABID, 2002. CD-ROM.

STEELE, D. D.; STEGMAN, E. C.; KNIGHTON, R. E. Irrigation management for corn in the northern Great Plains, USA. **Irrigation Science**, Berlin, v. 19, p. 107-114, 2000.