

AJUSTE E APLICAÇÃO DO IRRIGÂMETRO NO MANEJO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

CRISTIANO TAGLIAFERRE¹; LUCAS DA COSTA SANTOS²; IZAULTO JOSÉ DOS SANTOS NETO³; TIAGO JARDIM SANTOS⁴; FELIZARDO ADENILSON ROCHA⁵ E CLÁUDIA SANTOS SILVA⁴

¹Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista/BA, tagliaferre@yahoo.com.br

²Agrônomo, Doutorando, Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, lucas.cs21@gmail.com

³Agrônomo, Mestre em Fitotecnia, netopma10@gmail.com

⁴Agrônomos, consultores em agronomia, tigasjardim@gmail.com; kalvca@yahoo.com.br

⁵Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, EFET/BA, Vitória da Conquista-BA, felizardoar@yahoo.com.br

1 RESUMO

No presente estudo objetivou-se determinar as alturas dos níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro, para obter-se diretamente a evapotranspiração da cultura (ET_c) nos diversos estádios de desenvolvimento e ainda avaliar o desempenho do Irrigâmetro no manejo de irrigação conduzido na cultura do feijão-caupi. O estudo foi conduzido no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), localizada no município de Vitória da Conquista-BA. Para o primeiro objetivo da pesquisa, o experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições, em que os Irrigâmetros operaram com diferentes níveis de água no interior do evaporatório. O segundo envolveu a avaliação da tecnologia Irrigâmetro frente a outras metodologias de manejo de irrigação na cultura do feijão-caupi. O uso de diferentes níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro possibilita estimar diretamente a evapotranspiração da cultura em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Dentre os métodos avaliados, o Tanque Classe A foi o único que diferiu estatisticamente do Método Padrão de Estufa. O Irrigâmetro apresentou bom desempenho na estimativa direta da lâmina de irrigação.

Palavras-chave: evapotranspiração, manejo da irrigação, umidade do solo

**TAGLIAFERRE, C.; SANTOS, L. da C.; SANTOS NETO, I. J. dos; SANTOS, T. J.;
ROCHA, F. A.; SILVA, C. S.
ADJUSTMENT AND USAGE OF THE IRRIGAMETER FOR MANAGEMENT OF
IRRIAGTION WATER**

2 ABSTRACT

This study aimed to determine heights of water levels in the evaporimeter of the Irrigameter to directly obtain the evapotranspiration of the crop (ET_c) in several stages of its growth. Moreover, evaluate the performance of the Irrigameter at managing irrigation in the bean cowpea crop. The study was conducted in the Campus of the State University of

Southwestern Bahia (UESB) in the city of Vitória da Conquista-BA. For the first objective of the study, a completely randomized design with 6 treatments and 3 replications was used, in which the Irrigameters ran with different levels of water inside the evaporimeter. The second objective was related to evaluation of the Irrigameter technology as opposed to other methodologies for managing irrigation in bean cowpea crop. The use of different levels of water in the evaporimeter of the Irrigameter makes it possible to directly estimate the evapotranspiration of the crop in its different stages of growth. Among the study methods, the Class A tank was the only one which was statistically different from the standard method of greenhouse. The irrigameter had a good performance in directly estimating the levels of irrigation.

Keywords: evapotranspiration, management of irrigation, soil moisture.

3 INTRODUÇÃO

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação (Mendonça et al. 2003), podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; já os métodos baseados no clima consideram, desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (Rocha et al., 2003). A determinação da evapotranspiração (ET_0) tem sido mais usada por causa da sua maior praticidade e da menor exigência de mão-de-obra no manejo da irrigação. Assim, informações sobre a ET_0 , que levam a estimativas da evapotranspiração das culturas (ET_c), tornam-se ferramentas importantes no manejo da irrigação (Araújo et al., 2007), para aplicação em modelos de predição de crescimento e produção de culturas e para propósitos ecofisiológicos (Rana et al., 2001).

A evapotranspiração é definida como a perda de água por meio da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas. É um processo biofísico que envolve o conteúdo de água do solo, a passagem da água através da planta, a perda de água por transpiração através dos estômatos das folhas e o transporte de água na atmosfera por meio dos processos difusivos e turbulentos (Rana et al., 1997). Ela pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimada a partir de elementos climáticos, utilizando-se de modelos ou métodos teóricos empíricos. No primeiro grupo estão incluídos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço de água no solo, enquanto no segundo estão enquadrados, conforme Jensen et al. (1990), os métodos de Penman, Thornthwaite, Blaney-Cridle, Priestley-Taylor e Hargreaves, entre outros, e também os evaporímetros como o tanque Classe A e o atmômetro modificado.

O Irrigâmetro é um aparelho inventado recentemente na Universidade Federal de Viçosa, cuja instituição é a detentora de sua patente. Trata-se de um aparelho evapopluiométrico a ser utilizado no manejo da irrigação visando otimizar o uso da água na agricultura irrigada. O equipamento pode ser utilizado para estimar diretamente a evapotranspiração de referência e da cultura, além de efetuar com simplicidade o manejo da água em áreas irrigadas, uma vez que, além de diversas vantagens, ele fornece resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: quando e quanto irrigar. Informações sobre

o uso do equipamento podem ser obtidas em Tagliaferre et al. (2010), Oliveira et al. (2008), Tagliaferre et al. (2008) e Tagliaferre et al. (2006).

Objetivou-se com este estudo determinar as alturas dos níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro para obter diretamente a evapotranspiração da cultura (ET_c) nos diversos estádios de desenvolvimento e, ainda, avaliar o desempenho do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação conduzido na cultura do feijão-caupi, comparativamente aos métodos: Tanque Classe A, Penman-Monteith/FAO-56, Hargreaves-Samani, tensiômetro, tensímetro, Watermark e pelo Método Padrão de Estufa.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), localizada no município de Vitória da Conquista-BA, nas coordenadas 14°51' de latitude Sul, 40°50' de longitude Oeste e com altitude de 876 metros. O trabalho foi realizado em duas etapas: a primeira teve duração de dez meses e foi realizada na Estação Meteorológica da UESB (ESMET). Nesta etapa ajustaram-se as alturas dos níveis de água dentro do evaporatório do Irrigâmetro para que fornecesse diretamente a evapotranspiração da cultura para os quatro estádios de desenvolvimento. A outra etapa envolveu a aplicação da tecnologia Irrigâmetro (Figura 1) frente a outras metodologias de manejo de irrigação na cultura do feijão-caupi, em um experimento conduzido na área experimental da UESB.

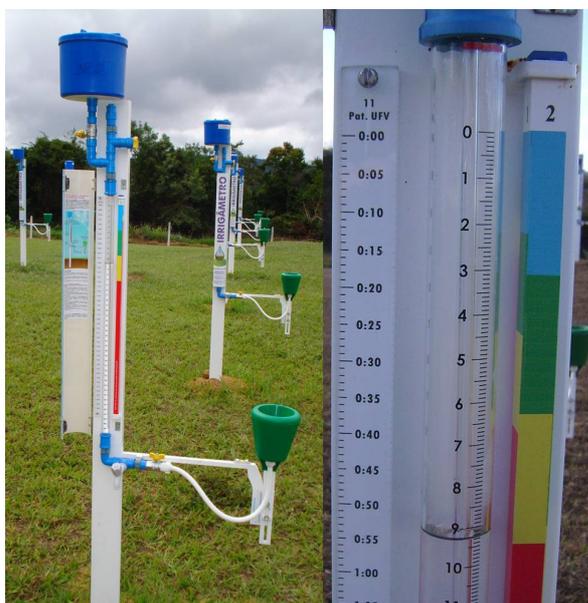


Figura 1. Irrigâmetro usado no manejo da água de irrigação do feijão-caupi irrigado por aspersão convencional. No detalhe, a indicação da lâmina evapotranspirada (9,2 mm), o tempo de irrigação (55 minutos) e o momento de irrigar (faixa amarela), Universidade Estadual Sudoeste da Bahia, 2009/2010.

O primeiro experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de Irrigâmetros operando com as seguintes alturas do nível de água dentro do evaporatório: $N_1 = 2$, $N_2 = 3$, $N_3 = 4$, $N_4 = 5$, $N_5 = 6$ e $N_6 = 7$ cm, tomadas a partir de um nível de referência próprio do equipamento. Para cada

tratamento foi determinado um coeficiente médio para o Irrigâmetro, denominado K_I , calculado pela equação 1, que estabelece a relação entre a evapotranspiração estimada no Irrigâmetro (ET_I) e a evapotranspiração de referência (ET_0). A ET_0 foi calculada a partir de dados meteorológicos obtidos de uma estação meteorológica automática instalada ao lado dos Irrigômetros, através do método de Penman-Monteith – FAO 56.

$$K_I = \frac{ET_I}{ET_0} \quad (1)$$

A leitura do nível da água no tubo de leitura do Irrigâmetro foi feita diariamente às 7:00 horas da manhã, durante o período de abril de 2008 até janeiro de 2009. A análise dos coeficientes do Irrigâmetro obtidos com a Eq. (1) permitiu identificar as alturas dos níveis de água no evaporatório que forneceriam diretamente a evapotranspiração da cultura para cada estágio de seu desenvolvimento, dispensando o uso de quaisquer coeficientes. Permitiu, também, obter a relação entre o coeficiente do Irrigâmetro (K_I) e as alturas do nível de água no evaporatório, e desse modo, o uso do Irrigâmetro na estimativa da demanda hídrica de qualquer cultura irrigada. Isto possibilita ao irrigante ajustar apenas a altura do nível de água no evaporatório do Irrigâmetro, na mudança dos estádios de desenvolvimento da cultura, no processo de manejo da água de irrigação, uma vez que a equação acima é igual à utilizada para obter os coeficientes de cultura. Sendo assim, os valores de K_I se resumem nos valores de K_c .

Para a segunda etapa do estudo escolheu-se a cultura do feijão-caupi, que foi plantada numa área de 288 m², cujo solo é classificado como Cambissolo Háplico. Amostras desse solo foram retiradas nas camadas de 0 a 15 e 15 a 30 cm de profundidade para determinação de características químicas, da densidade e da curva de retenção da água do solo. A curva de retenção foi determinada para tensões correspondentes a 10, 30, 100, 500 e 1500 kPa.

A semeadura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*, cv. Guaribas) foi feita no mês de outubro de 2009, com estande de sete plantas por metro linear e espaçamento entre fileiras de 0,6 metros.

As adubações de fundação e de cobertura foram realizadas com base nos resultados da análise química do solo e de acordo com as exigências da cultura. Foi realizada uma adubação no plantio com 60 kg ha⁻¹ de fósforo e 30 kg ha⁻¹ de potássio, sendo ainda feita uma adubação de cobertura, aos 20 dias após a emergência com 20 kg ha⁻¹ de nitrogênio através da fonte uréia. Foram feitas ainda aplicações de inseticidas e fungicidas para o controle e prevenção de pragas e doenças.

Utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão convencional, com apenas uma linha de aspersores, conforme metodologia proposta por Hanks et al. (1976), em que se usaram aspersores rotativos com bocais de 5,6 x 3,2 mm, raio de alcance de 12 m e pressão de serviço de 200 kPa, espaçados a cada 6 m. O sistema de irrigação foi previamente avaliado para se obter a uniformidade de distribuição de água, a eficiência e a intensidade líquida de aplicação de água. Essa avaliação foi utilizada no ajuste da régua temporal que equipa o Irrigâmetro e para o cálculo da lâmina bruta de irrigação a ser aplicada com o uso dos demais métodos de manejo utilizados neste experimento.

O princípio de funcionamento do Irrigâmetro é baseado na estimativa da evapotranspiração. Sendo assim, a avaliação do seu desempenho no manejo da água de irrigação foi feita com base na estimativa da evapotranspiração do feijão-caupi, e na medição da precipitação pluvial, definindo o momento e o tempo de irrigação.

A recomendação das lâminas de irrigação com uso dos métodos que estimam a evapotranspiração de referência foi feito por meio do somatório da evapotranspiração real da cultura e da contabilização da precipitação pluvial ocorrida no período, respeitando-se a lâmina de água que a cultura poderia perder em cada estágio de seu desenvolvimento, de acordo com a equação:

$$L_i = \frac{\sum ET_0 K_c K_s - P_e}{E_a} \quad (2)$$

em que:

L_i - Lâmina total de irrigação, mm;

K_c - Coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional;

K_s - Coeficiente que depende da umidade do solo (0 a 1), adimensional;

P_e - precipitação efetiva, mm.

O coeficiente de déficit hídrico foi obtido com uso da equação:

$$K_s = \frac{\ln [(LAA + 1,0)]}{\ln [(CTA + 1,0)]} \quad (3)$$

em que:

K_s - Coeficiente de déficit hídrico, adimensional;

\ln - Logaritmo neperiano;

LAA - Lâmina atual de água no solo, em mm;

CTA - Capacidade total de água no solo, em mm.

No manejo da água de irrigação com o Irrigâmetro, o aparelho operou com níveis de água dentro do evaporatório iguais a 1,5; 3,7; 5,5 e 3 cm, para obter diretamente a evapotranspiração da cultura do feijão-caupi nos estádios de desenvolvimento correspondentes ao inicial, crescimento, florescimento e final, respectivamente.

O tensiômetro foi utilizado como indicador do momento de irrigar, adotando-se o turno de rega variável. Foram montadas na área experimental duas baterias com dois tensiômetros em cada uma, instalados com suas cápsulas tensiométricas a 7,5 e 22,5 cm de profundidade, correspondendo às camadas de 0-15 e 15-30 cm, respectivamente. Nessas mesmas profundidades foram instalados tubos tensiométricos para uso do tensiômetro digital e cápsulas para uso do Watermark. Para utilização do Watermark foi realizada uma prévia calibração do equipamento com o método padrão de estufa.

As irrigações foram realizadas quando a umidade atual do solo atingia valor igual a -50 kPa. A lâmina de irrigação foi obtida quando as médias das leituras dos tensiômetros instalados nas duas profundidades alcançaram valores próximos de -50 kPa. A umidade atual do solo para a tensão crítica foi obtida usando-se a curva de retenção de umidade do solo.

Antes da realização de cada evento de irrigação foram retiradas amostras de solo representativas de cada camada de solo para determinação da umidade atual do solo pelo método padrão de estufa. Simultaneamente, foram computadas as lâminas de irrigação obtidas com o uso dos métodos de Penman-Monteith/FAO-56, de Hargreaves-Samani, do Tanque Classe A, dos tensiômetros, dos sensores Watermark e do Irrigâmetro. No caso do tanque Classe A utilizou-se um K_p igual a 0,78.

Para converter a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e tanque Classe A em evapotranspiração da cultura, utilizaram-se os coeficientes da cultura (K_c) iguais a 0,50; 0,80; 1,10 e 0,70, para os estádios de desenvolvimento inicial, desenvolvimento, floração/frutificação e final, respectivamente.

O desempenho do Irrigâmetro em relação aos outros métodos estudados foi obtido comparando-se as lâminas recomendadas por cada método, durante todo o ciclo da cultura, tendo como referência o método padrão de estufa. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se os testes de Tukey e Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

A produtividade do feijão-caupi foi determinada através do método do quadrado, utilizando-se quatro amostras na área plantada, sendo que cada amostra tinha uma área de 1m^2 . Em cada quadrado foram realizadas três colheitas. O peso dos grãos foi corrigido para 14% da umidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ajuste do Irrigâmetro para estimativa da evapotranspiração da cultura

Nas Figuras 2A e 2B encontram-se os valores médios diários dos elementos climáticos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência.

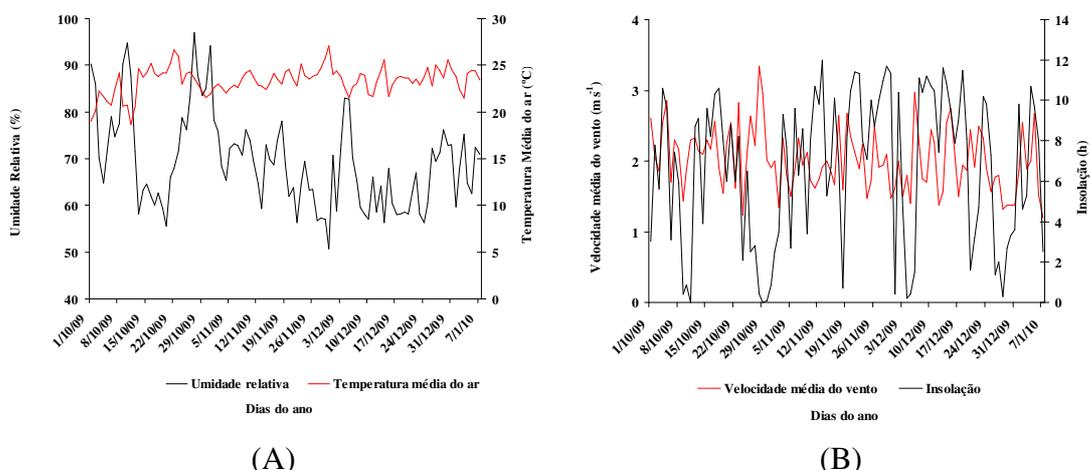


Figura 2. Valores diários de temperatura e umidade relativa média do ar (A) e velocidade média do vento e insolação (B) obtidos durante o período experimental. Vitória da Conquista, BA, 2009/2010.

Durante a condução do experimento verificaram-se suaves variações nos valores da umidade relativa e temperatura média do ar. Na Figura 2A, a umidade relativa média diária foi superior a 70%, sendo classificada como alta e a temperatura média foi de $20,6^{\circ}\text{C}$. A velocidade do vento (Figura 2B) foi superior a $1,9\text{ m s}^{-1}$, sendo considerada leve, de acordo com Doorenbos & Pruitt (1977).

Na Figura 3 os coeficientes do Irrigâmetro aumentaram exponencialmente com o aumento dos níveis da água dentro do evaporatório. À medida que aumentou o nível de água dentro do evaporatório, houve ampliação da área exposta à atmosfera e, conseqüentemente, maior interceptação da radiação solar, variável que exerce grande influência no processo da

evaporação, ao mesmo tempo em que favorece a ação do vento, atuando na remoção do ar saturado sobre a superfície evaporante.

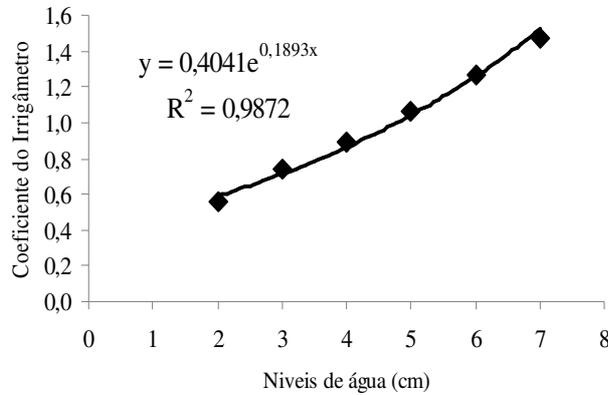


Figura 3. Coeficientes do Irrigâmetro em função dos níveis de água dentro do evaporatório. Vitória da Conquista, BA, 2009/2010.

No entanto, quando o nível da água permaneceu mais distante da borda do evaporatório ocorreram diminuição da área exposta à atmosfera e maior sombreamento da água no seu interior, provavelmente, diminuindo o efeito da radiação solar e da velocidade do vento. Resultados como esses foram encontrados por Tagliaferre et al. (2006) e Tagliaferre et al. (2008) em estudos envolvendo os minievaporímetros UFV-1 e UFV-2 e por Tagliaferre (2007) e Oliveira et al. (2011), ambos trabalhando com o Irrigâmetro, sendo que o primeiro autor trabalhou em Viçosa-MG e o segundo em Rio Paranaíba-MG. O bom ajuste desse modelo aos dados observados indica que a equação pode ser utilizada para determinar os níveis de água dentro do evaporatório para uma dada cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento.

O uso da equação de regressão acima permite estabelecer, para as condições climáticas do Planalto de Vitória da Conquista - BA, o nível da água no evaporatório do Irrigâmetro de maneira a fornecer determinado valor de coeficiente de cultura para cada estágio de desenvolvimento, uma vez que os valores dos coeficientes de cultura apresentados no Boletim FAO 56 (Allen et al., 1998) apresentam maior variação com a mudança do estágio de desenvolvimento do que propriamente com o tipo de cultura.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos níveis de água que se devem manter no evaporatório para estimar diretamente a evapotranspiração da cultura nos seus diversos estádios de desenvolvimento.

Tabela 1. Valores de coeficientes do Irrigâmetro para algumas profundidades dos níveis de água recomendados para as culturas nos seus diferentes estádios de desenvolvimento. Vitória da Conquista, BA, 2009/2010.

	Estágios de desenvolvimento			
	Das culturas			
	I	II	III	IV
Coeficientes do Irrigâmetro	0,55	0,82	1,15	0,82
Níveis de água no evaporatório (cm)	2-3	3-4	5-6	3-4

Os coeficientes do Irrigâmetro apresentados na Tabela 1 podem ser utilizados para fins práticos de manejo da água de irrigação, pois representam diretamente a conversão da evapotranspiração de referência em evapotranspiração da cultura para cada estágio de desenvolvimento, uma vez que a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro é a própria estimativa da evapotranspiração da cultura. Sendo assim, o valor de K_I se converte em K_c , de acordo com a equação 1. Esses resultados evidenciam que o Irrigâmetro pode ser usado para estimar diretamente a evapotranspiração de qualquer cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento, para um valor de K_c desejado. Em regiões com condições climáticas diferentes da encontrada no Planalto de Vitória da Conquista - BA recomenda-se fazer ajuste semelhante considerando a evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e a de referência, para se verificar a aplicabilidade dos valores dos coeficientes. Tagliaferre (2007) encontrou valores dos coeficientes do Irrigâmetro iguais a 0,63; 0,80; 1,10 e 0,80 para os mesmos estádios de desenvolvimento da cultura, em clima úmido da Zona da Mata Mineira. Paula (2009) em estudos com o Irrigâmetro conduzido em clima seco e quente, região Norte de Minas Gerais, obteve valores de K_I iguais a 0,42, 0,69, 0,85, 1,07, 1,34 e 1,61 para alturas dos níveis de água do evaporatório iguais a 1, 2, 3, 4, 5 e 6 cm, respectivamente.

Estudo comparativo de diferentes metodologias de manejo da irrigação

Neste estudo, a necessidade hídrica do feijão-caupi foi determinada empregando-se diversas metodologias, antes de cada evento de irrigação.

Durante o ciclo da cultura ocorreram chuvas concentradas possibilitando realizar dezesseis eventos de irrigação. Na Tabela 2 encontram-se as lâminas médias de irrigação recomendada por cada metodologia, assim como o resultado do teste de média.

Tabela 2. Médias das lâminas de irrigação, em mm, recomendadas pelos diferentes métodos de manejo. Vitória da Conquista, BA, 2009/2010.

Métodos	Tukey ¹	Dunnet ²
Tanque Classe A	13,49 a	4,84*
Irrigâmetro	11,51	2,87*
Hargreaves-Samani	11,38	2,74*
Penman-Monteith-	10,95	2,31
Tensiômetro	10,14	1,50
Tensímetro	9,84	1,20
Método Padrão de	8,64	-
Watermark	8,59	0,05

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

²Médias com asterisco na coluna apresentaram diferença significativa, a 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett.

Neste estudo optou-se por fazer as comparações das médias utilizando dois testes estatísticos, o de Tukey e o de Dunnett. O primeiro por ser um teste de comparação de médias duas a duas em que se confrontaram todos os métodos avaliados. Já o segundo que serve para comparações múltiplas onde apenas um tratamento serve de referência (Padrão de Estufa) para comparação com os demais.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, todos os métodos avaliados neste experimento, com exceção do Watermark, superestimaram o método padrão de estufa, usado como referência neste estudo. O tanque Classe A, o Irrigâmetro, o método de Hargreaves-Samani, o de Penman-Monteith/FAO-56, o tensiômetro e o tensímetro apresentaram superestimativas da ordem de 33,21; 31,77; 26,77; 17,34 e 13,86%, respectivamente, em relação ao método padrão de estufa. A subestimativa ficou em 0,6% para as leituras realizadas pelos sensores Watermark, sendo, portanto, o método que mais se aproximou do padrão de estufa.

Analisando-se os resultados em dois grupos, o da Estimativa da Evapotranspiração (ET) e o que monitora a Umidade do Solo (US) observa-se que o primeiro grupo (Figura 4) foi o que apresentou uma maior variação e superestimativas ao longo de todo o período experimental. Esse comportamento se justifica porque, após um evento de chuva de alta magnitude, o solo se encontra saturado, levando de um a dois dias para alcançar a capacidade de campo, no caso de solos argilosos. Nesse período de tempo, os métodos deste grupo computam a evapotranspiração logo após as chuvas, enquanto os métodos que determinam a umidade do solo somente poderão fazê-la após atingir a capacidade de campo.

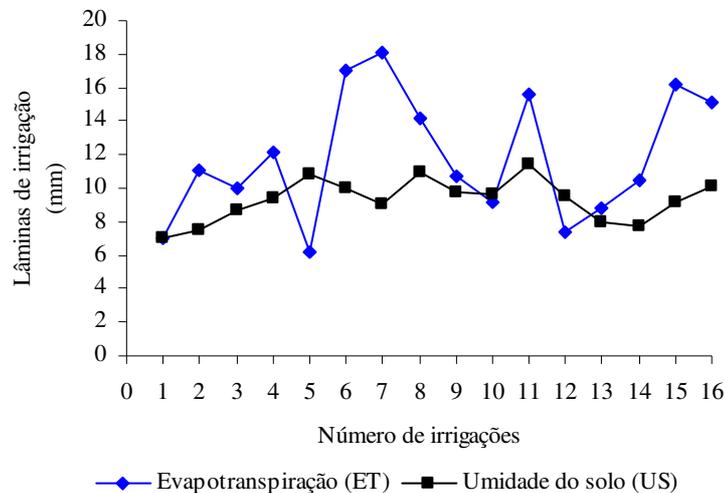


Figura 4. Lâminas de irrigação para os grupos de Estimativa da Evapotranspiração (ET) e Umidade do Solo (US). Vitória da Conquista, BA, 2009/2010.

Dentre todos os métodos avaliados neste estudo, o Tanque Classe A foi o único que diferiu dos demais, apresentando diferença significativa pelo teste de Tukey quando comparado com as metodologias que determinam a umidade do solo (Tabela 2). Entretanto, quando se analisa a comparação feita pelo método de Dunnett, o tanque Classe A, o Irrigâmetro e o método de Hargeraves-Samani apresentou diferença significativa em relação

ao método padrão de estufa, sendo o primeiro método o que mais superestimou a lâmina de irrigação.

Quando se comparam apenas as médias obtidas pelos dois grupos observa-se que estas, com valores de 11,83 mm (ET) e 9,3 mm (US), apresentam uma diferença de 2,5 mm. Em trabalhos desenvolvidos por Lopes et al. (2004) em sistema de cultivo convencional e plantio direto, envolvendo o tanque Classe A e tensiômetros, foram observadas economias da ordem de 15 e 16,8%, respectivamente, quando se comparou o primeiro método com o segundo. Resultado semelhante foi observado neste experimento quando se considera o Tanque Classe A e o tensiômetro como representantes de seus grupos.

Comparando-se o Irrigâmetro com os métodos estudados, verifica-se que o aparelho teve bom desempenho, apresentando valor médio da lâmina de água de irrigação próxima à obtida pelo método padrão de estufa e pelos outros métodos consagrados na literatura. Esses resultados mostram que o Irrigâmetro pode ser recomendado para estimativa direta da evapotranspiração da cultura nos seus diversos estádios de desenvolvimento e, conseqüentemente, no manejo da água de irrigação.

O manejo da irrigação efetuado com tensiômetros em associação com os demais tratamentos demandados pelo feijão-caupi mostraram-se adequados, sendo alcançada uma produtividade grãos de 2.820 kg ha⁻¹, correspondendo a 47 sacas ha⁻¹.

6 CONCLUSÕES

Os coeficientes do Irrigâmetro aumentaram exponencialmente com o aumento do nível da água dentro do evaporatório. O uso de diferentes níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro possibilita estimar diretamente a evapotranspiração da cultura em seus diferentes estádios de desenvolvimento. Os níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro, de 2; 3,5; 5,5 e 3 cm, para os estádios de desenvolvimento I, II, III e IV, respectivamente, foram adequados para estimativa da evapotranspiração do feijão-caupi. Dentre os métodos avaliados, o tanque Classe A foi o método que apresentou maior superestimativa da lâmina de irrigação. O Irrigâmetro apresentou desempenho satisfatório na estimativa direta da lâmina de água de irrigação do feijão-caupi.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p. Irrigation and drainage Paper, 56.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. dos. Comparação entre métodos de estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o) para Boa Vista-RR. **Revista Caatinga**, Mossoró. v.20, n.4, p.84-88, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. FAO Irrigation and Drainage Paper 24

HANKS, R. J.; KELLER, J.; RASMUSSEM, V. P.; WILSON, G. A. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madson. v.40, p.426-429, 1976.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York.1990. 332p. (Manuals and reports 70)

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da Irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistema de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal. v.24, p.89-100, 2004.

MENDONÇA, J. C.; SOUZA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.7, n.2, p.275-279, 2003.

OLIVEIRA, E. M. de; OLIVEIRA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; DRUMOND, L. C. D. Análise do coeficiente e o desempenho do irrigômetro e a influência dos elementos do clima na estimativa da evapotranspiração. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v.19, n.4, p.348-360, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAN, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do irrigômetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.12, n.2, p.166-173, 2008.

PAULA, A. L. T. **Tecnologias do irrigômetro e da válvula intermitente para aspersion aplicadas no perímetro irrigado do Jaíba**. Viçosa: UFV, 2009. 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RANA, G.; KATERJI, N.; MASTRORILLI, M. Environmental and soil-plant parameters for modeling actual crop evapotranspiration under water stress conditions. **Ecological Modelling**, Elsevier. v.101, p.363 - 371, 1997.

RANA, G.; KATERJI, N.; PERNIOLA, M. Evapotranspiration of sweet sorghum: A general model and multilocal validity in semiarid environmental conditions. **Water Resources Research**, Elsevier. v. 37, p.3237-3246, 2001.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.7, n. 2, p.263-268, 2003.

TAGLIAFERRE, C. **Geração de tecnologia inovadora aplicada ao irrigômetro para o manejo racional da água de irrigação**. Viçosa: UFV, 2007. 50p. Relatório de Pós-Doutorado

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, E. M. de; BAPTESTINE, J. C. M; SANTOS, L. da C. Desempenho do Irrigômetro no manejo da água de irrigação na cultura do feijoeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró. v.23, n.3, p.110-117, 2010.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R A. de; SEDIYAMA, G. C.; CECOM, P. R.; DENICULI, W.; MARTINEZ, M. A.; MATERAN, F. J. V. Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v.14, n.3, p.212-223, 2006.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A. de; SEDIYAMA, G. C.; CECOM, P. R.; MARTINEZ, M. A.; MATERAN, F. J. V. Estimativa da evapotranspiração de referência usando minievaporímetro com bordadura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa. v.16, p.87-98, 2008.