

CALIBRAÇÃO DO IRRIGÂMETRO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO NO CAFEIEIRO

GLAUCIO L. ARAUJO¹, EDVALDO F. DOS REIS².

1-Acadêmico de Agronomia, CCA-UFES, Bolsista de Iniciação Científica CNPq, glaucio_araujo@yahoo.com.br.

2-Eng. Agrícola, Prof. Dr. Dep. de Eng. Rural, CCA-UFES, Bolsista de Produtividade em pesquisa CNPq, edreis@cca.ufes.br.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: Visando simplificar o manejo da irrigação, pesquisadores desenvolveram uma nova tecnologia o Irrigâmetro. Para a calibração do Irrigâmetro para o manejo da irrigação do cafeeiro um experimento foi conduzido no CCA-UFES, sul do Espírito Santo. No processo de calibração os valores de Kc para o cafeeiro, propostos por Santinato (1996), foram tomados como base para a estimativa da ET_C do cafeeiro. O Irrigâmetro apresentou excelentes resultados apresentando boa precisão para a estimativa da ET_C , com elevados valores para índices de concordância, e baixos valores para erro padrão da estimativa. O Irrigâmetro mostra-se como uma boa alternativa para o manejo da água na cafeicultura irrigada.

PALAVRAS CHAVE: Evapotranspiração, café, novas tecnologias.

ABSTRACT: To simplify the management of irrigation, researchers developed a new technology the Irrigâmetro. For calibration of Irrigâmetro for the irrigation management of coffee an experiment was conducted on CCA-UFES, south of the Espírito Santo. In the process of calibration were taken values of coffee Kc proposed by Santinato (1996), as the basis for estimating the coffee ET_C . The Irrigâmetro showed excellent results with good accuracy for the estimation of the ET_C , with higher values for concordance rates, and low values for standard error of the estimate. The Irrigâmetro shows up as a good alternative for water management in coffee crop.

KEYWORDS: Evapotranspiration, coffee, new technologies.

INTRODUÇÃO: O manejo da irrigação consiste em manter a umidade do solo em um nível confortável para cultura, evitando a aplicação em excesso e conseqüentemente o desperdício de água. No setor agrícola, a água utilizada na irrigação tem recebido um tratamento especial, haja visto que a agricultura é responsável por uma grande parcela do consumo total da água, pois, somente no Brasil, cerca de 61% da água captada é usada na agricultura para a produção de alimentos (ANA, 2007). O manejo da irrigação está intimamente relacionado com o aumento da produtividade agrícola como agente regulador no momento de se promover a irrigação, sendo um processo utilizado para decidir quando irrigar e quanto aplicar de água. A determinação do consumo de água pelas culturas é fundamental no manejo da irrigação, desta forma vários métodos alternativos têm sido desenvolvidos e testados para a quantificação do consumo de água pelas culturas. O Irrigâmetro é uma nova tecnologia que combina o método da estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho evapopluviométrico que fornece diretamente, de maneira simplificada informações como o momento de irrigar e quanto aplicar de água, permitindo efetuar o cômputo da efetividade da chuva no manejo da irrigação. O objetivo deste trabalho foi calibrar o Irrigâmetro, determinando quais os níveis de água no interior do evaporatório que melhor estimam a evapotranspiração do cafeeiro de acordo com seus valores de coeficiente cultural (Kc) no sul do Estado do Espírito Santo. Possibilitando o aumento da eficiência do aparelho no manejo da irrigação do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na área experimental pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (latitude 20°45'1,16" sul, longitude 41°29'20,04" oeste e altitude de 138,0 m), localizada no município de Alegre-ES, Brasil. O clima da região é do tipo "Aw" com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köeppen.

Para o processo de calibração do Irrigâmetro para a estimativa da evapotranspiração do cafeeiro (ET_C), foram instalados 15 Irrigâmetros, com 5 diferentes níveis de água dentro do evaporatório do aparelho, desta forma foram utilizadas 3 repetições em cada nível. Os níveis utilizados foram 2, 3, 4, 5 e 6 cm tomados a partir de um nível de referência do próprio aparelho.

Os Irrigâmetros utilizados para o estudo foram instalados com os evaporatórios voltados para o norte, evitando o sombreamento da superfície da água, uma descrição detalhado do aparelho pode ser encontrada em Oliveira & Ramos (2008). A leitura dos valores de evapotranspiração estimada para cada nível de água dos Irrigâmetros (ET_I) foi realizada às 9 horas da manhã de cada dia, no período de vigência do horário de verão as leituras foram realizadas às 10 horas da manhã, a coleta de dados foi realizada no período de 20/03/2009 a 19/03/2010.

Para a calibração foi necessário estimar a evapotranspiração do cafeeiro (ET_C) em cada valor de coeficiente cultural do cafeeiro (K_c), para a estimativa da ET_C foi utilizada a equação 1.

$$ET_C = ET_0 * K_c \quad (1)$$

Em que: ET_0 é a estimativa da evapotranspiração de referência; e K_c são os diferentes coeficientes para a cultura do cafeeiro, que neste caso é função da idade e do espaçamento do cafeeiro, os valores de K_c foram apresentados por Santinato et al. (1996) (Tabela 1). O método utilizado para a estimativa da ET_0 foi o de Penman-Monteith-FAO 56 (ALLEN et al. 1998).

Tabela 1 - Valores de coeficiente da cultura (K_c) para o cafeeiro, em função da idade e do espaçamento

Idade	Espaçamento entre ruas e entre plantas (m)	K_c
Adulta (> 3 anos)	3,0 x 1,0 – 2.500 plantas/ha	1,0
	3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	1,1
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas/ha	1,2
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	1,3
Nova (1 a 3 anos)	3,0 x 1,0 – 2.500 plantas/ha	0,8
	3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	0,9
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas/ha	1,0
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	1,1
Nova (ate 1 ano)	3,0 x 1,0 – 2.500 plantas/ha	0,6
	3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	0,7
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6.666 plantas/ha	0,8
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	0,9

Fonte: Santinato et al. (1996).

Os elementos climatológicos utilizados para os cálculos da ET_0 pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia instalada no local de condução do experimento. Os valores de ET_0 estimados pelo método padrão foram calculados com uso do aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000).

Depois de determinados os valores da ET_C para todos os valores de K_c do cafeeiro e já possuir os dados de ET_I em cada nível de água no evaporatório, foram realizadas análises de regressão linear onde a evapotranspiração do cafeeiro foi a variável independente e os valores

de ET_1 em cada nível foram as variáveis dependentes. Na análise de regressão linear o coeficiente β_1 representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no Irrigâmetro e a ET_C , quando o β_0 é igual a zero. O β_1 quando β_0 é igual a zero foi calculado de acordo com a equação 2.

$$\beta_1 = \frac{\sum ET_C ET_1}{\sum ET_C^2} \quad (2)$$

Em que: β_1 é o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Após a obtenção de todos os coeficientes β_1 para cada nível de água no evaporatório e ET_C correspondente a cada valor de K_c , foi necessário obter o nível de água no interior do evaporatório do Irrigâmetro que melhor determina a ET_C do cafeeiro, em cada valor de K_c , para isso foram realizadas análises de regressão linear onde os níveis de água no evaporatório foram as variáveis independentes e os valores do coeficiente β_1 foram as variáveis dependentes. Como o coeficiente β_1 exprime a relação entre ET_1 e ET_C quando o igualamos a 1, a ET_1 é numericamente igual a ET_C , desta forma quando igualamos as equações de regressão obtidas dos níveis de água e dos valores dos coeficientes β_1 a 1 o resultado é o nível de água no evaporatório do Irrigâmetro que corresponde a estimativa da ET_1 que é numericamente igual a ET_C em determinado K_c do cafeeiro.

A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen (1998), e se fundamenta na estimativa do erro-padrão (EEP), calculada pela equação 3.

$$EEP = \sqrt{\frac{\sum (ET_C - ET_1)^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

Em que: EEP é a estimativa do erro padrão, $mm\ d^{-1}$; e n é o número de observações.

A aproximação dos valores de ET_0 estimados pelo Irrigâmetro, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida por um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985), seus valores variam de zero, onde não existe concordância, a 1, para a concordância perfeita. O índice de aproximação é calculado com a equação 4.

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (ET_1 - ET_C)^2}{\sum_{i=1}^n \left[(|ET_1 - ET_{C_{med}}|) + (|ET_C - ET_{C_{med}}|) \right]^2} \right) \quad (4)$$

Em que: d é o índice de concordância ou ajuste; e $ET_{C_{med}}$ é a média dos valores obtidos da ET_C do cafeeiro, $mm\ d^{-1}$.

RESULTADOS & DISCUSSÃO: Os valores dos coeficientes β_1 calculados no processo experimental de calibração do Irrigâmetro são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores dos coeficientes β_1 das regressões lineares da ET_1 em função da ET_C

Kc	Nível da água no evaporatório (cm)				
	2	3	4	5	6
0,6	1,295	1,634	2,028	2,403	2,730
0,7	1,110	1,401	1,738	2,059	2,340
0,8	0,972	1,226	1,521	1,802	2,047
0,9	0,864	1,089	1,352	1,602	1,820
1,0	0,777	0,980	1,217	1,442	1,638
1,1	0,707	0,891	1,106	1,311	1,489
1,2	0,648	0,817	1,014	1,201	1,365
1,3	0,598	0,754	0,936	1,109	1,260

Na Tabela 2 podemos observar que os valores dos coeficientes β_1 aumentaram com a elevação do nível da água dentro do evaporatório do Irrigâmetro, esse fato está relacionado com a área da superfície da água que é exposta a atmosfera, que aumenta com a elevação do nível da

água devido ao formato cônico do evaporatório. Os valores dos coeficientes β_1 diminuíram a mediada que o valor de Kc foi elevado, independentemente do nível de água no evaporatório. Por meio dos modelos de regressão linear obtidos dos valores dos coeficientes β_1 em função dos níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro, foi possível determinar o nível de água no interior do evaporatório do Irrigâmetro para a estimativa da evapotranspiração do cafeeiro para cada valor de Kc, para isso o coeficiente β_1 de cada equação foi igualado a 1, obtendo desta forma o valor correspondente a cada nível de água (cm) no interior do evaporatório do Irrigâmetro que estima a evapotranspiração do cafeeiro (Tabela 3).

Tabela 3 - Equações de regressão linear dos coeficientes β_1 em função dos níveis de água no evaporatório do Irrigâmetro, com seus respectivos coeficientes de determinação (r^2), níveis estimados para a estimativa da ET_C , estimativa do erro padrão (EEP) e o índice de concordância (d) para a estimativa da ET_C em cada valor de Kc

Kc	Equação	r^2	Nível Estimado	EEP	d
0,6	$\beta_1 = 0,363N + 0,563$	0,99	1,20	0,891	0,848
0,7	$\beta_1 = 0,311N + 0,482$	0,99	1,67	0,613	0,931
0,8	$\beta_1 = 0,272N + 0,422$	0,99	2,05	0,535	0,953
0,9	$\beta_1 = 0,242N + 0,375$	0,99	2,58	0,725	0,938
1,0	$\beta_1 = 0,218N + 0,337$	0,99	3,04	0,671	0,954
1,1	$\beta_1 = 0,198N + 0,307$	0,99	3,50	0,824	0,938
1,2	$\beta_1 = 0,181N + 0,281$	0,99	3,97	0,795	0,954
1,3	$\beta_1 = 0,167N + 0,259$	0,99	4,44	0,861	0,951

Todos os modelos de regressão obtidos apresentaram elevado coeficiente de determinação, tornando a estimativa do nível de água no evaporatório que estima a ET_C do cafeeiro mais confiável. O nível estimado sofreu elevação à medida que os valores de Kc aumentaram, este fato pode ser explicado devido a elevação da evapotranspiração do cafeeiro representada por valores mais elevados de Kc, desta forma para equilibrar a ET_I com a ET_C o nível do evaporatório foi elevado aumentando área de exposição da água a atmosfera fazendo com que a ET_I fosse elevada.

Todos os níveis estimados para a estimativa da ET_C do cafeeiro apresentaram baixos valores para a estimativa do erro padrão, valores que não ultrapassaram $0,9 \text{ mm d}^{-1}$, também apresentaram elevado valor para o índice de concordância.

Na Figura 1 são apresentadas as regressões lineares da ET_I em cada nível de água estimado em função da evapotranspiração do cafeeiro para cada valor de Kc.

Na Figura 1 observamos que para o valor de Kc 0,6 o aparelho apresentou a tendência de superestimativa da ET_C do cafeeiro, fato que explica o maior valor de EEP e menor valor do índice de concordância apresentados por este nível. Nos demais valores de Kc o aparelho apresentou boa estimativa para a ET_C do cafeeiro. O aparelho pode ser utilizado para o manejo da água no cafeeiro maximizando a produção gerando mais renda para o produtor rural. O Irrigâmetro se mostra como uma boa alternativa para o manejo da água na cafeicultura irrigada.

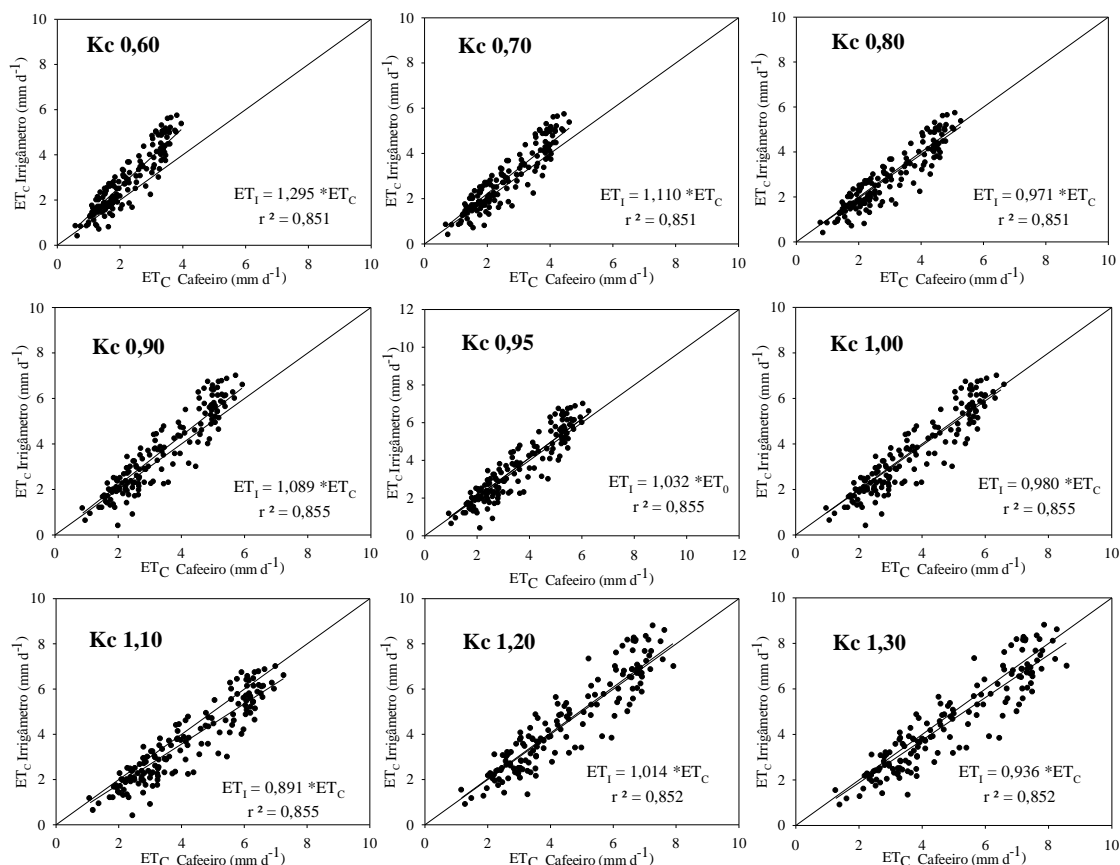


Figura 1. Regressões lineares com β_0 passando pela origem da evapotranspiração do cafeeiro estimada no Irrigâmetro em função da evapotranspiração do cafeeiro para cada valor de Kc, com suas respectivas equações de regressão linear e coeficiente de determinação (r^2).

CONCLUSÃO: O Irrigâmetro apresentou excelentes resultados para a estimativa da evapotranspiração do cafeeiro para o sul do Estado do Espírito Santo, apresentando elevados valores para índices de concordância, e baixos valores para erro padrão da estimativa. O evaporatório do Irrigâmetro deve ser regulado em 1,20; 1,67; 2,05; 2,58; 3,04; 3,50; 3,97 e 4,44 cm para os valores de Kc 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2 e 1,3 respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1.** Idaho: Idaho University, 2000. 82p.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage Paper, 56.** Rome, Italy. FAO: 1998. 310p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. “O Estado da Arte da Agricultura Irrigada e as Modernas Tecnologias no Uso Racional da Água na Irrigação”. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/palestras/AntonioFelix/FelixANA.pdf>>. Acesso em 16 de agosto 2007.
- OLIVEIRA, R. A. de; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro.** 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 144p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café.** Campinas: Arbore, 1996. 146 p.
- WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5. p.8995-9005, 1985.