



Tensiometria aplicada na estimativa do consumo hídrico do cafeeiro irrigado por gotejamento

Tensiometry applied in the estimation of the water consumption of the coffee tree irrigated by drip irrigation

Jéfferson de Oliveira Costa¹, Rubens Duarte Coelho¹, Timóteo Herculino da Silva Barros¹, Eusímio Felisbino Fraga Júnior², André Luís Teixeira Fernandes³

¹ Universidade de São Paulo, USP/ESALQ, Piracicaba, Brasil.

² Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Monte Carmelo, Brasil.

³ Universidade de Uberaba, UNIUBE, Uberaba, Brasil.

Contato: costajo@alumni.usp.br

Palavras-Chave

Coffea arabica
tensiometria
evapotranspiração
irrigação

RESUMO

O cafeeiro está entre as principais culturas irrigadas do Brasil e o seu consumo de água tem sido quantificado, principalmente, pelo uso de variáveis climatológicas, como a evapotranspiração de referência (ET_0) e o coeficiente de cultura (K_c). Os coeficientes utilizados no manejo da irrigação e na estimativa da evapotranspiração (ET) do cafeeiro são, atualmente, objetos de pesquisa de muitos cientistas, que procuram caracterizar regionalmente esses fatores. O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros característicos das necessidades hídricas do cafeeiro, ou seja, a ET e o K_c , com base em dois métodos de estimativa de ET_0 e tensiometria. O estudo foi realizado em Piracicaba-SP, utilizando a espécie *Coffea arabica* da variedade Catuaí Vermelho IAC 144, o sistema de irrigação adotado foi o gotejamento e o manejo foi feito por tensiometria. Foram utilizados dois métodos para a estimativa da ET_0 , Penman-Monteith e Priestley Taylor. As lâminas de irrigação necessárias para o suprimento hídrico da cultura variaram entre 1,73 e 2,67 mm d^{-1} , em média, ao longo do período de avaliação. Concluiu-se que o K_c estimado com base na tensiometria e em estimativas de ET_0 (Penman-Monteith e Priestley Taylor) apresentou valores que variaram de 0,59 (época 4) a 0,98 (época 2).

Key-word

Coffea arabica
tensiometer
evapotranspiration
irrigation

ABSTRACT

*Coffee is among the main irrigated crops in Brazil and its water consumption has been quantified mainly by the use of climatological variables, such as reference evapotranspiration (ET_0) and crop coefficient (K_c). The coefficients used in irrigation management and in the estimation of coffee evapotranspiration (ET) are currently the object of research by many scientists who seek to characterize these factors regionally. The objective of this work was to estimate the parameters characteristic of coffee water requirements, ie, ET and K_c , based on two methods of estimation of ET_0 and tensiometry. The study was conducted in Piracicaba-SP, using the *Coffea arabica* variety of Catuaí Vermelho variety IAC 144, the irrigation system adopted was drip irrigation and the management was done by tensiometry. Two methods were used to estimate ET_0 , Penman-Monteith and Priestley Taylor. Irrigation depths required for the crop water supply ranged from 1.73 to 2.67 mm d^{-1} on average over the evaluation period. It was concluded that the estimated K_c based on tensiometry and on ET_0 estimates (Penman-Monteith and Priestley Taylor) presented values that ranged from 0.59 (season 4) to 0.98 (season 2).*

Informações do artigo

Recebido: 16 de dezembro, 2019

Aceito: 05 de agosto, 2020

Publicado: 29 de agosto, 2020

Introdução

De acordo a CONAB (2017) as áreas de café em produção e em formação no Brasil totalizam aproximadamente dois milhões de hectares. Enquanto isso, a cafeicultura irrigada ocupa cerca de 10% dessa área plantada do cafeeiro arábica. Já para o café robusta, este valor chega a 35%, permitindo situar o cafeeiro entre as principais culturas irrigadas do Brasil. Estudos avaliam que há aproximadamente 262 mil hectares de café irrigado neste país (COSTA et al., 2016).

Para melhor definição da lâmina de irrigação a ser aplicada nessas áreas, o consumo de água do cafeeiro tem sido quantificado, principalmente, pelo uso da evapotranspiração de referência (ET_0) e do coeficiente de cultura (K_c) (VILLA NOVA et al., 2002; COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b).

A estimativa do K_c e da evapotranspiração (ET) do cafeeiro, utilizados no manejo da irrigação, têm sido objetos de pesquisa de muitos trabalhos que procuram caracterizar esses fatores de forma regional, buscando a condição ótima de atendimento da demanda hídrica da cultura (SATO et al., 2007; COSTA et al., 2018; COSTA et al., 2020a).

O K_c depende da área total foliar, da arquitetura da planta, da cobertura vegetal e da transpiração e, por isso, é um indicador de significado físico e biológico (ALLEN et al., 1994). Segundo Allen et al. (2006) o K_c é calculado como a razão entre a ET de um cultivo sob ótimas condições de manejo (inclusive hídrica) e a ET_0 , dessa forma, reflete a habilidade da cultura de estar conectada à atmosfera. Tanto K_c como ET variam principalmente em função do estágio fenológico da cultura. A medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação, a cobertura da superfície do solo pela vegetação aumenta, alterando assim o valor de K_c de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da cultura (ALLEN et al., 2011; NAVARRO et al., 2016; JOSÉ et al., 2019; TAPPARO et al., 2019; COSTA et al., 2020b).

Apesar de diversos trabalhos (FAVARIN et al., 2001; VILLA NOVA et al., 2002; ALLEN et al., 2006; SATO et al., 2007; LIMA e SILVA, 2008; SANTINATO et al., 2008; FLUMIGNAN e FARIA, 2009; SILVA et al., 2011) apresentarem valores de K_c para o cafeeiro, ainda há divergências de valores encontrados e carência de informações em diversas situações, uma vez que em uma mesma propriedade existe uma gama muito grande de demanda hídrica das plantas, em função das variedades plantadas, das idades das plantas, dos sistemas de condução da cultura, do aprofundamento radicular e da capacidade de retenção de água (CAD) dos diferentes tipos de solos na área.

Quando o manejo da irrigação é feito via solo utilizando tensiômetros a lâmina aplicada independe de um valor de K_c adotado, pois o objetivo passa a ser elevar a umidade do solo à capacidade de campo em função das leituras dos equipamentos na área.

O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros característicos das necessidades hídricas do cafeeiro arábica variedade Catuaí Vermelho IAC 144, ou seja, a ET e o K_c , com base em dois métodos de estimativa de ET_0 e tensiometria.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em uma estufa localizada na área de pesquisa do Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB) na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), situada no município de Piracicaba, no estado de São Paulo (COSTA et al., 2015). As coordenadas geográficas da área experimental são: 22° 42' 45" de latitude Sul e 47° 37' 54" de longitude Oeste. A altitude local é de aproximadamente 543 metros.

Foram realizadas avaliações, através da tensiometria, do consumo de água do cafeeiro arábica variedade Catuaí Vermelho IAC 144, no período entre janeiro e dezembro de 2015. Essas avaliações foram realizadas dentro do bulbo molhado no solo (gotejamento) em quatro épocas ao longo do referido ano (30/03 a 24/04, 07/06 a 02/07, 17/08 a 11/09 e 10/10 a 04/11), no qual as plantas possuíam idade de 3 anos.

O sistema de irrigação adotado foi o gotejamento, utilizando tubo gotejador com emissor autocompensante. Foram instalados dois gotejadores por planta com vazão de 8 L h⁻¹ totalizando uma vazão de 16 L h⁻¹. Esta vazão era dividida em quatro pontos por mini-estacas, resultando em 4 L h⁻¹ em cada ponto. A pressurização do sistema foi feita por uma motobomba KSB com potência do motor de 0,5 cv.

Válvulas solenóides foram instaladas possibilitando um tempo de irrigação independente entre as unidades. A abertura e fechamento dessas válvulas eram controlados por um software desenvolvido pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia-Engenharia da Irrigação (INCT-EI).

Para comprovar o bom funcionamento do sistema de irrigação instalado, foram realizados testes de uniformidade considerando todos os gotejadores do experimento, utilizando os coeficientes de uniformidade de distribuição CUC e CUD. Foram obtidas uniformidades de 97,4% e de 94,8%, respectivamente.

Para caracterização físico-hídrica do solo (Nitossolo Vermelho Eutrófico, fase argilosa) foram coletadas amostras indeformadas no início do trabalho. Para isto, foi utilizado um trado para amostra indeformada com cilindros de aço inox de 50 cm³. As amostras foram retiradas em três profundidades, 10, 30 e 50 cm, representando as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. A determinação das curvas de retenção de água no solo se deu através de mesa de tensão e extratores de “Richards” com placas porosas (para potenciais mátricos de -10, -30, -50, -100, -500, -1000 e -1500 kPa).

O manejo da irrigação adotado foi via solo, repondo o volume de água consumido pela planta, em função dos dados de tensão de água no solo (tensiometria), medidos em 12 tensiômetros instalados em três profundidades (20, 40 e 60 cm) e em quatro plantas. Os tensiômetros foram posicionados em uma linha reta com distância de aproximadamente 5 cm em relação a posição dos gotejadores.

As leituras da tensão de água no solo foram feitas com tensiômetro digital de punção devidamente calibrado em um manômetro de coluna de mercúrio.

O intervalo entre as leituras foi de três dias, coletando-se os dados das 7 às 8 horas, quando a variação nos dados é menor.

Os dados coletados com o tensímetro digital foram transformados em potencial matricial da água no solo (ψ_m) utilizando a Equação 1, na qual desconta-se a pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro para cada profundidade medida. A pressão equivalente descontada foi de 3, 5 e 7 kPa para os tensiômetros que representam as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente.

$$\Psi_m = Lt - hc \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: ψ_m é o potencial matricial da água no solo (kPa); Lt é a tensão da água no solo (leitura do tensiômetro em kPa) e hc é a pressão equivalente à altura da coluna d'água no tensiômetro (kPa).

Depois de calculado o potencial matricial da água no solo (ψ_m) calculou-se a média entre as leituras das quatro caixas nas três profundidades, obtendo uma leitura para cada camada do solo. A partir destes valores, foi estimada a umidade (θ), em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, através do modelo proposto por Van Genuchten (1980), que relaciona os valores de ψ_m com os respectivos valores de θ , utilizando os parâmetros característicos do solo, conforme a Equação 2.

$$\theta (\Psi_m) = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{(1 + (\alpha \Psi_m)^n)^m} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: θ (ψ_m) é a umidade volumétrica em função do potencial mátrico ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r é a umidade volumétrica residual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s é a umidade volumétrica do solo saturado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); m e n são os parâmetros de regressão da equação (adimensionais); α é o parâmetro com dimensão igual ao inverso da tensão (kPa^{-1}) e ψ_m é o potencial mátrico (kPa).

Com os dados de umidade estimados e a caracterização físico-hídrica do solo de cada camada, as lâminas de irrigação necessárias para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (θ_{cc}) foram calculadas através da Equação 3.

$$L_x = (\theta_{cc} - \theta) Z \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: L_x é a lâmina necessária para elevar a umidade da camada x até a capacidade de campo (mm); θ_{cc} é a umidade volumétrica na capacidade de campo para a camada x ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ é a umidade volumétrica atual estimada para a camada x ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e Z é a espessura da camada x (mm).

A soma das lâminas necessárias de cada camada resultou na lâmina de irrigação a ser aplicada, conforme a Equação 4.

$$LI = L_{0-20} + L_{20-40} + L_{40-60} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: LI é a lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (mm); L_{0-20} é a lâmina necessária para elevar a umidade da

camada 0-20 cm até a capacidade de campo (mm); L_{20-40} é a lâmina necessária para elevar a umidade da camada 20 a 40 cm até a capacidade de campo (mm) e L_{40-60} é a lâmina necessária para elevar a umidade da camada 40 a 60 cm até a capacidade de campo (mm).

Por fim, calculou-se o tempo de irrigação necessário usando a Equação 5. Para este cálculo, adotou-se a vazão do sistema de 16 L h^{-1} para cada planta, área de superfície do solo de 1 m^2 e eficiência de aplicação do sistema de 95%.

$$TI = \frac{LI \cdot A}{Q \cdot Ea} \cdot 60 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: TI é o tempo de irrigação (minutos); LI é a lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo (mm); A é a área de solo da parcela (m^2); Q é a vazão do sistema (L h^{-1}) e Ea é a eficiência de aplicação (decimal).

Os dados meteorológicos foram obtidos em uma estação automática instalada no interior da estufa, com sensores a uma altura de dois metros em relação ao solo. Esta registrava a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), a umidade relativa do ar (%) e a radiação solar global. Os dados foram adquiridos a cada 30 segundos e integrados a cada 15 minutos por meio de sistema de aquisição ou "datalogger".

Com os dados meteorológicos coletados foram feitas estimativas de ET_o utilizando os métodos de Penman-Monteith e Priestley Taylor.

O segundo método utilizado foi escolhido pelo fato de considerar o componente aerodinâmico como um percentual fixo do componente energético, o que permite comparações com as condições de desenvolvimento do trabalho, nas quais a velocidade do vento foi fixada em $0,5 \text{ m s}^{-1}$.

O cálculo dos K_c nas diferentes situações foi feito nas quatro épocas de avaliação utilizando as lâminas de irrigação aplicadas e as estimativas de ET_o pelos métodos de Penman-Monteith e Priestley Taylor, conforme a Equação 6.

$$K_c = \frac{ET}{ET_o} \quad (\text{Eq.6})$$

Onde: K_c é o coeficiente de cultura (decimal); ET é a evapotranspiração do cultivo (mm) e ET_o é a evapotranspiração de referência (mm).

Resultados e Discussões

Os dados meteorológicos do ano de 2015 são apresentados na Figura 1A. A temperatura mínima diária oscilou entre $8,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (29 de julho) e $24,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 de janeiro) e fechou o ano de 2015 com uma média de $18,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

A temperatura média diária variou entre $15,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (06 de julho) e $33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (19 de janeiro) e teve uma média anual de $24,3^{\circ}\text{C}$, a qual está acima da faixa ótima para o bom desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro, que fica entre 18 e $21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para o café arábica (RENA e MAESTRI, 2000).

A temperatura máxima diária variou entre 18,8°C (06 de julho) e 47,2 °C (19 de janeiro) e teve uma média anual de 34,9°C. Analisando as médias mensais, o mês de julho teve a menor média, com valor de 19,8 °C, e o mês de janeiro a maior média, com valor de 29,4 °C.

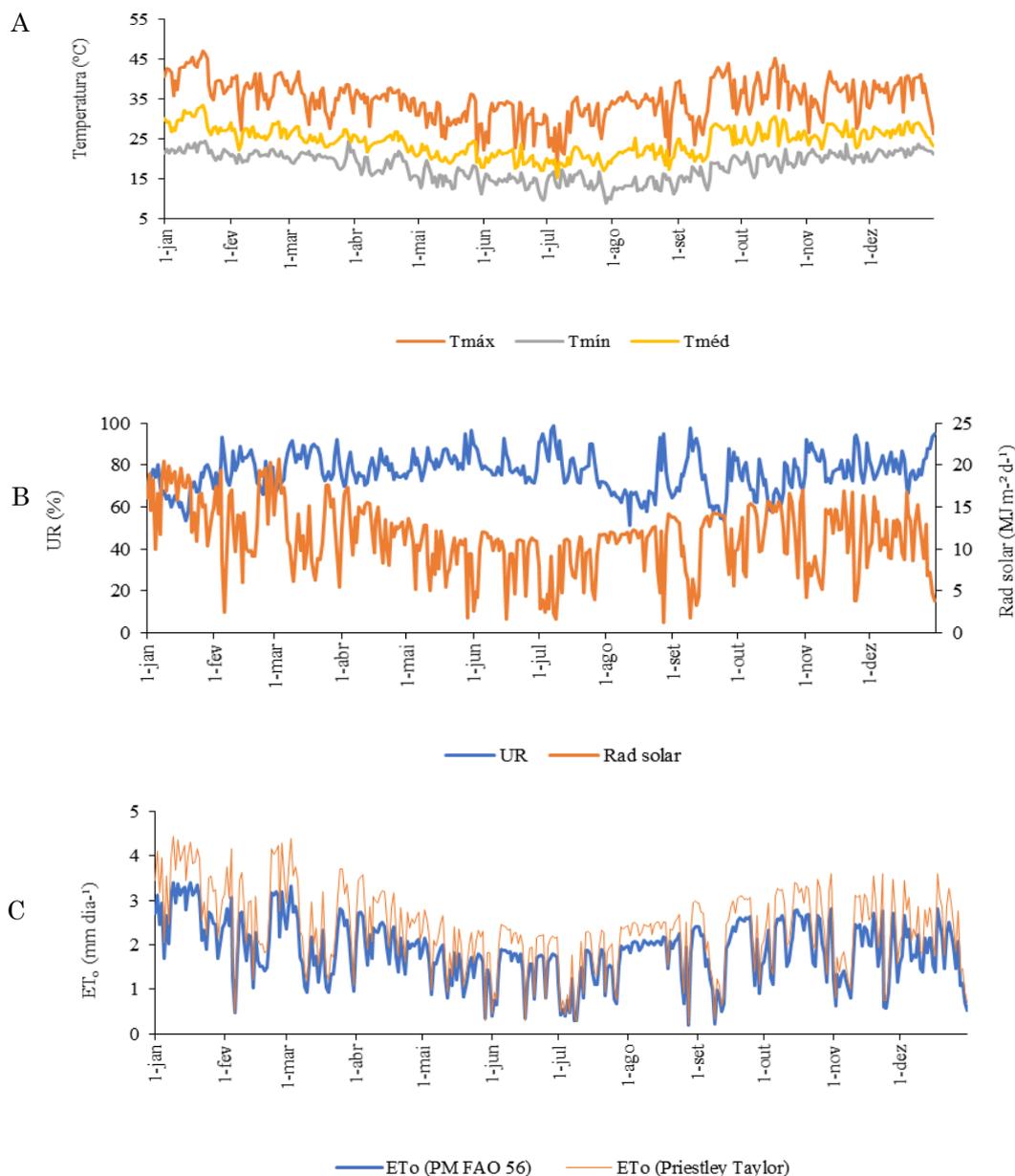
O valor de umidade relativa do ar média anual foi de 76,9%, oscilando entre a máxima de 99,0% (8 de julho) e a mínima de 51,4% (12 de agosto) (Figura 1B). A radiação solar variou de 1,2 MJ m⁻² d⁻¹ (28 de agosto) a 20,7 MJ m⁻² d⁻¹ (3 de março) e teve uma média anual de 11,43 MJ m⁻² d⁻¹. O valor mínimo de radiação solar coincide com os menores valores de ET_o, confirmando o papel determinante dessa variável física na taxa de transpiração das plantas.

Os valores extremos de ET_o estimados pelo método de Penman-Monteith oscilaram entre 0,23 mm.d⁻¹

(28 de agosto) e 5,07 mm d⁻¹ (11 de janeiro), e a média para o período de avaliação foi de 2,65 mm.d⁻¹ (Figura 1C). Já os valores de ET_o estimados pelo método de Priestley Taylor variaram entre 0,22 mm d⁻¹ (28 de agosto) e 5,76 mm d⁻¹ (9 de janeiro), e a média para o período de avaliação foi de 2,93 mm d⁻¹.

As estimativas pelos dois métodos apresentaram valores bem próximos ao longo de ano. Isso permite afirmar que o uso da medida de velocidade do vento fixada em 0,5 m s⁻¹, que segundo Allen et al. (2006) pode ser usada em condições de velocidade do vento muito baixa, permitiu a obtenção de estimativas de ET_o coerentes com os valores calculados pelo método de Priestley Taylor que é um método que considera o componente aerodinâmico como um percentual fixo do componente energético.

Figura 1. Variação diária da temperatura máxima, mínima e média ao longo do ano de 2015 (A); Variação diária da radiação solar global e da umidade relativa média no mesmo período (B); Variação diária da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Priestley Taylor também no mesmo período (C)

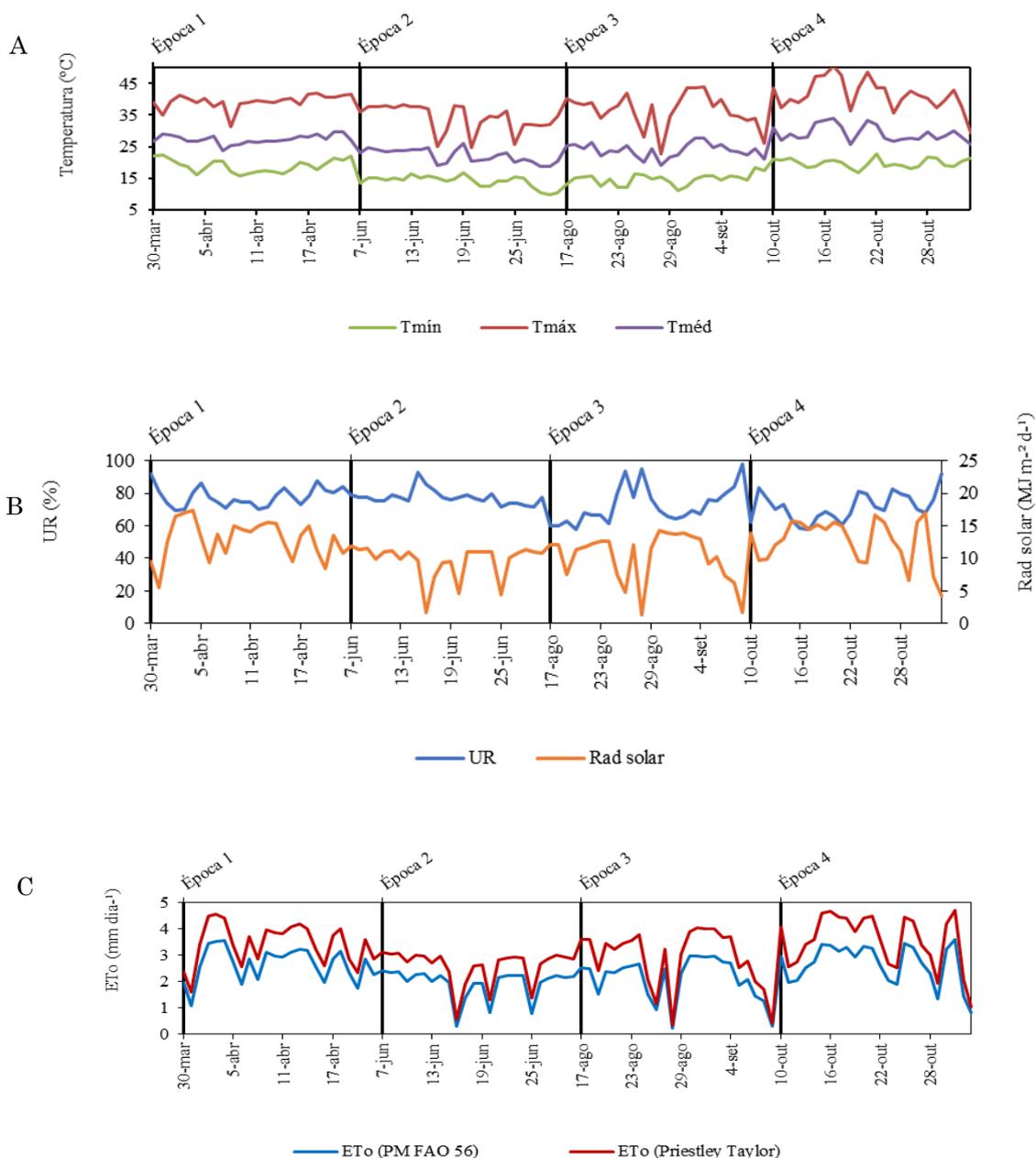


T_{máx} - temperatura máxima; T_{mín} - temperatura mínima; T_{méd} - temperatura média; UR - umidade relativa do ar média; Rad solar - radiação solar global; ET_o - evapotranspiração de referência

Os dados meteorológicos de cada época de avaliação podem ser vistos na Figura 2. A temperatura mínima na época 1 foi de 18,9°C em média, já a média da temperatura máxima nesta mesma época foi de 35,5°C.

A temperatura média nesse período de avaliação variou entre 21,6°C (07 de abril) e 26,8°C (20 de abril) e a média nesta época 1 foi de 24,8°C.

Figura 2. Variação diária da temperatura máxima, mínima e média nas quatro épocas de imposição dos tratamentos (A); Variação diária da radiação solar global e da umidade relativa média no mesmo período (B); Variação diária da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Priestley Taylor também no mesmo período (C)



Tmáx - temperatura máxima; Tmin - temperatura mínima; Tméd - temperatura média; UR - umidade relativa do ar média; Rad solar - radiação solar global; ETo - evapotranspiração de referência

Na época 2 a temperatura mínima foi de 14,0°C em média e a média da temperatura máxima no mesmo período foi de 30,8°C. Nesta mesma época de imposição dos tratamentos a temperatura média oscilou entre 17,0°C (29 de junho) e 23,8°C (19 de junho) e a média foi de 20,2°C. Na época 3 a temperatura mínima e a temperatura máxima foram, em média, 14,7 e 33,0°C, respectivamente. A temperatura média do período foi de 21,7°C e variou

entre 17,3°C (28 de agosto) e 25,1°C (01 de setembro). E na época 4 a temperatura mínima foi em média 19,6°C e a temperatura máxima média foi de 36,9°C. A temperatura média nessa época oscilou entre 23,3°C (19 de outubro) e 30,8°C (17 de outubro) e a média do período foi de 26,5°C (Figura 2A).

A umidade relativa média na época 1, 2 3 e 4 foi de 78,0, 77,5, 72,5 e 71,9%, na devida ordem.

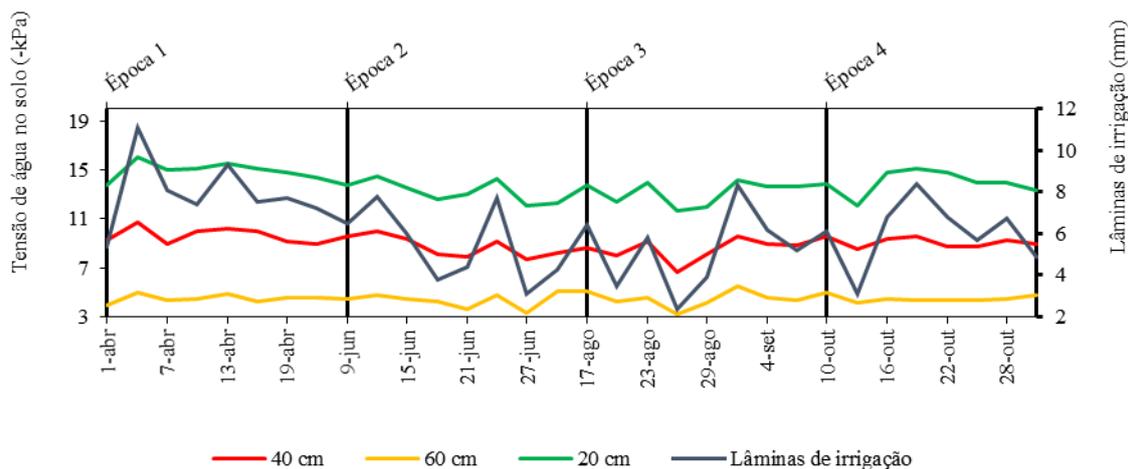
A radiação solar foi em média 12,9, 9,7, 10,3 e 12,6 MJ m⁻² d⁻¹ na 1^a, 2^a, 3^a e 4^a época, respectivamente (Figura 2B).

Os valores de ET_o pelo método de Penman-Monteith na época 1, 2, 3 e 4 foram em média 2,86, 1,86, 2,31 e 3,14 mm d⁻¹, respectivamente. Já pelo método de Priestley Taylor a ET_o foi em média 3,22, 1,94, 2,38 e 3,44 mm d⁻¹ para as épocas 1, 2, 3 e 4, na ordem devida (Figura 2C).

Na Figura 3 são apresentados os valores de tensão de água no solo nas três profundidades durante as quatro

épocas de avaliação, e também, as lâminas de irrigação aplicadas. Na época 1 as tensões de água no solo medidas a cada três dias foram em média 15, 9,7 e 4,5 kPa para as profundidades de 20, 40 e 60 cm, respectivamente. Já para a época 2 esses valores foram de 13,3, 8,8 e 4,4 kPa para as mesmas profundidades citadas. Na época 3 a média das tensões coletadas nas profundidades 20, 40 e 60 cm foram de 13,1, 8,5 e 4,5 kPa, na ordem devida. Por fim, na época 4 esses valores foram de 14, 9,1 e 4,5 kPa para as profundidades 20, 40 e 60 cm, respectivamente.

Figura 3. Tensão de água no solo nas profundidades de 20, 40 e 60 cm e lâminas de irrigação aplicadas nas quatro épocas avaliação

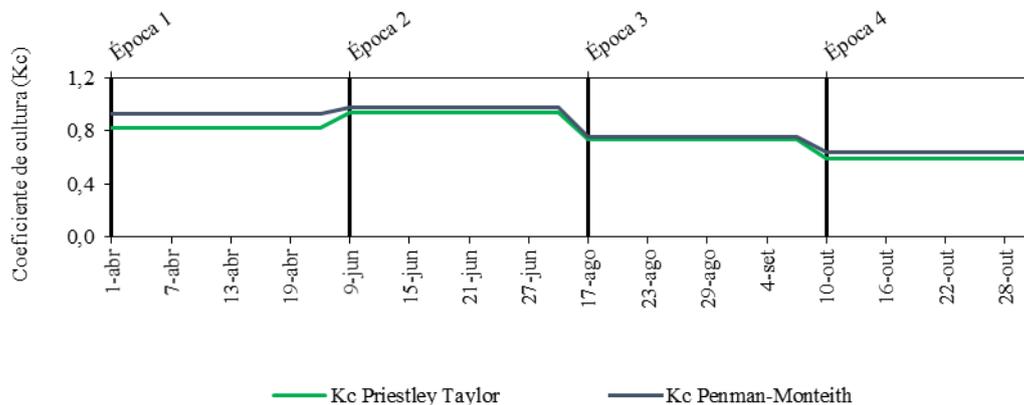


Observa-se que na época 1 as lâminas de irrigação aplicadas a cada três dias foram em média de 8,0 mm. Já para a época 2 esse valor foi de 5,5 mm. Na época 3 a média das lâminas de irrigação aplicadas foi de 5,2 mm. Por fim, na época 4 esse valor foi de 6,1 mm.

Usando as lâminas de irrigação das quatro épocas de avaliação e as estimativas de ET_o pelos dois métodos,

observou-se que considerando o método de Penman-Monteith o K_c foi de 0,93, 0,98, 0,75 e 0,64 nas épocas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Ao considerar o método de Priestley Taylor, verificou-se valores para o K_c de 0,82, 0,94, 0,73 e 0,59 nas épocas 1, 2, 3 e 4, na devida ordem (Figura 4).

Figura 4. Curvas dos coeficientes de cultura (K_c) do cafeeiro obtidos por meio do uso da tensiometria e de dois diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)



Os dados encontrados ficaram próximos dos valores propostos por Allen et al. (2006) que adotando a ET_o estimada pela equação de Penman-Monteith sugeriram K_c entre 0,90 e 0,95, na ausência de plantas daninhas, e de 1,05 a 1,10, na presença dessas, para cafezais com altura de 2 a 3 m e manejo adequado, em clima sub-úmido.

Considerando os dois métodos de estimativa de ET_o, o K_c obtido variou entre 0,59 na época 4 (Priestley Taylor) e 0,98 na época 2 (Penman-Monteith), valores que ficaram próximos dos encontrados por Santinato et al. (2008) que obtiveram valores de K_c de 0,60, 0,70 e 0,80 para as densidades de plantio de 2500, 3300 e 6700 plantas ha⁻¹, respectivamente.

Conclusão

O cafeeiro arábica variedade Catuaí Vermelho IAC 144 necessitou de lâminas de irrigação que variaram entre 1,73 mm d⁻¹ e 2,67 mm d⁻¹, em média, ao longo do período de avaliação.

O K_c estimado com base na tensiometria e em estimativas de ET_o (Penman-Monteith e Priestley Taylor) apresentou valores que variaram de 0,59 (época 4) a 0,98 (época 2).

A demanda hídrica e os valores de K_c obtidos por meio da tensiometria podem auxiliar no manejo da irrigação do cafeeiro arábica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo a estudantes e co-autores deste trabalho. Este experimento foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP 2012 / 50083-7.

Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop requirements)**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v.43, n.2, p.93, 1994.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 6, p. 899-920, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 2001 a 2016 de café. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 18 out. 2017.

COSTA, J. O.; ALMEIDA, A. N.; COELHO, R. D.; FOLEGATTI, M. V.; JOSÉ, J. V. Modelo de estimativa de elementos micrometeorológicos em ambiente protegido. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 4, n. 1-3, p. 25-31, 2015. DOI: 10.19149/2316-6886/wrim.v4n1-3p25-31

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Physiological responses of coffee tree under different irrigation levels. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 648-656, 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n5p648-656/2018

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Leaf area index and radiation extinction coefficient of a coffee canopy under variable drip irrigation levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 41, e42703, 2019a. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42703

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; WOLFF, W.; JOSÉ, J. V.; FOLEGATTI, M. V.; FERRAZ, S. F. B. Spatial variability of coffee plant water consumption based on the SEBAL algorithm. **Scientia Agrícola**, v. 76, n. 2, p. 93-101, 2019b. DOI: 10.1590/1678-992x-2017-0158

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; FERNANDES, A. L. T. Canopy thermal response to water deficit of coffee plants under drip irrigation. **Irrigation and Drainage**, v. 69, p. 1-11, 2020a. DOI: 10.1002/ird.2429

COSTA, J. O.; NAVARRO, B. L.; SOARES, J. N. Risco climático para ocorrência da ferrugem no cafeeiro. **Revista Geama**, v. 2, n. 1, p. 8-14, 2016.

COSTA, J. O.; JOSÉ, J. V.; WOLFF, W.; OLIVEIRA, N. P. R.; OLIVEIRA, R. C.; RIBEIRO, N. L.; COELHO, R. D.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F. Spatial variability quantification of maize water consumption based on Google EEflux tool. **AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT**, v. 232, p. 106037, 2020b. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106037

FAVARIN, J. L.; VILLA NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; DOURADO NETO, D.; BERNARDES, M. S. Estimativa do consumo hídrico do cafeeiro em função de parâmetros climatológicos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 235-240, 2001.

FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 269-278, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v68n1/a29v68n1.pdf>

JOSÉ, J. V.; OLIVEIRA, N. P. R.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; COSTA, J. O.; FENNER, W.; COELHO, R. D. Quantification of cotton water consumption by remote sensing. **Geocarto International**, p. 1-14, 2019. DOI: 10.1080/10106049.2019.1583777

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266-273, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n3/v12n03a07>

NAVARRO, A.; ROLIM, J.; MIGUEL, I.; CATALÃO, J.; SILVA, J.; PAINHO, M.; VEKERDY, Z. Crop Monitoring Based on SPOT-5 Take-5 and Sentinel-1A Data for the Estimation of Crop Water Requirements. **Remote Sensing**, v. 8, n. 6, p. 1-20, 2016. DOI: 10.3390/rs8060525

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 48, p. 34-41, 2000. Disponível em: http://www.abid.org.br/arquivo/revista/revista_pdf/item_48.pdf

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L.; FERNANDES, D. R. **Irrigação da cultura do café**. Uberaba: O Lutador, 2008.

SATO, F. A. SILVA, A. M. D.; COELHO, G. U.; SILVA, A. C.; CARVALHO, L. G. D. Coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro (Coffea arabica L.) no período de outono-inverno na região de Lavras-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 383-391, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n2/a07v27n2.pdf>

SILVA, A. C.; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W.; MARTINS, C. P. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras/MG. **Coffee Science**, v. 6, n. 2, p. 128-136, 2011. DOI: 10.25186/cs.v6i2.188

TAPPARO, S. A.; COELHO, R. D.; COSTA, J. O.; CHAVES, S. W. P. Growth and establishment of irrigated lawns under fixed management conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 256, 108580, 2019. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108580

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, J. L.; ANGELOCCI, L. R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v61n1/a12v61n1.pdf>