

ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO MÁXIMA DE CAFEZEIROS UTILIZANDO O MODELO DE PENMAN-MONTEITH¹

Fábio Ricardo MARIN²; Luiz Roberto ANGELOCCI³; Evandro Zanini RIGHI⁴

INTRODUÇÃO

Com a expansão das lavouras cafeeiras para regiões que permitem a obtenção de bebidas com qualidade superior e que proporcionam rendimentos economicamente interessantes, a cafeicultura passa a ser cada vez mais dependente da suplementação hídrica. Para que a aplicação de água seja eficiente, é fundamental o conhecimento adequado da demanda hídrica da cultura, que por sua vez, é regulada por suas características biológicas e pelo clima da região. No caso de cafezais, os estudos dessa natureza são complicados pelas peculiaridades micrometeorológicas introduzidas pela configuração geométrica de plantio, afetando a interceptação da radiação, o regime de ventos e o aproveitamento da água do solo.

Diante disso, o objetivo do presente trabalho é avaliar o desempenho do modelo de Penman-Monteith para a estimativa da transpiração máxima de cafeeiros adultos cultivados em sistema semi-adensado, comparando seus resultados com medidas de fluxo de seiva pelo método do balanço de calor. Para tanto, foi necessário modelar o saldo de radiação efetivamente disponível às árvores e a resistência foliar à difusão de vapor a partir das variáveis meteorológicas e biométricas e; por fim, adaptar o modelo de Landsberg & Powell (1973) para determinação da resistência aerodinâmica de cafeeiros.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Área Experimental do Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), situada no município de Piracicaba, SP.

A área experimental é constituída de um cafezal com 5 anos de idade, com 812 plantas, da variedade Mundo Novo Apuatã, plantado em espaçamento de 2,5 m X 1,0 m em solo classificado como Terra Roxa Estruturada. A altura média das plantas do cafezal era de 2,5m e as copas tinham diâmetro médio de aproximadamente 1,6m. A área foi irrigada por sistema de gotejamento.

Os sensores para as medidas micrometeorológicas do cafezal foram instalados em um mastro de 4 m de altura, posicionado no centro da área experimental, com os sinais eletrônicos coletados em um sistema automático de aquisição de dados. A medida do fluxo de seiva dos cafeeiros foi feita pelo método do balanço de calor, com sensores comerciais.

A estimativa da transpiração máxima dos cafeeiros foi feita empregando-se o modelo de Penman-Monteith (Monteith, 1965) adaptado para folhas hipoestomáticas, na escala de uma árvore:

$$T = AF \frac{s Rn_f + 900 \rho c_p \frac{\Delta e}{ra}}{\lambda \left[s + \gamma \left(2 + \frac{rc}{ra} \right) \right]} \quad (1)$$

em que T é a transpiração máxima (kg pl⁻¹ 15min⁻¹); AF é a área foliar da planta (m²); Rn_f é o saldo de radiação absorvidos pela copa (MJ m⁻² de folha 15min⁻¹); ra é a resistência aerodinâmica (s m⁻¹); rf é a resistência foliar (s m⁻¹); ρ é a densidade de ar (kg m⁻³); cp é o calor específico do ar seco (J kg⁻¹ K⁻¹); λ é o calor latente de vaporização da água (MJ kg⁻¹); γ é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); Δe é o déficit de pressão de vapor do ar (kPa).

A área foliar das plantas foi determinado pela contagem do número total de folhas, multiplicando-se pela área média das folhas, obtendo-se os seguintes valores: Planta1 = 9,3 m²; Planta2 = 13,9m²; Planta3 = 11,4m²; Planta4 = 6,0m².

O valor de Rn_f foi determinado com um sistema móvel de medida do saldo de energia radiante na copa, composto por oito saldo-radiômetros, instalados a intervalos de 45° em um arco circular de alumínio posicionado em torno do renque e deslocando-se na sua direção à velocidade aproximada de 0,10 m s⁻¹. O arco foi apoiado sobre um suporte tracionado por corrente e acionado por motor elétrico de 0,75 hp, descrevendo um caminho de ida e volta a cada 40 segundos.

A resistência aerodinâmica das plantas foi estimada com o modelo de Landsberg & Powell (1973) na forma adaptada por Landsberg & Jones (1981):

$$ra = 58 p \left(\frac{\delta}{u} \right)^{0,56} \quad (2)$$

em que p é uma medida da razão entre a área foliar e a área frontal de cada árvore; u é a velocidade do vento medida na altura média das copas.

A resistência da copa à difusão de vapor foi estimadas pelo modelo de Marin et al. (2001):

$$rf = \frac{\rho c_p \Delta e}{\gamma 0,70 Rn_f} - 2ra \quad (3)$$

Para avaliação desse modelo, foram realizadas medidas com um porômetro de equilíbrio dinâmico ao longo de cinco dias. Em cada dia, foram realizadas sete seqüências de medida, a intervalos médios de 1 hora, amostrando-se 20 folhas em cada seqüência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a análise de regressão entre as medidas e estimativas de rf, sendo a análise significativa ao nível de 1% de probabilidade. Na equação de regressão não é apresentado o valor do coeficiente linear porque a análise estatística com o teste T para o intercepto não foi significativa ao nível 5%. Assim, pelo valor do coeficiente angular (b), pode-se perceber houve uma tendência de subestimativa de cerca de 4% dos valores estimados de rf.

As estimativas da resistência aerodinâmica feitas com o modelo de Landsberg & Powell (1973) variaram entre 23,5 s m⁻¹, com desvio padrão de 4,5 s m⁻¹ para a planta 4 (AF=6,0 m²), e 37,5 s m⁻¹, com desvio padrão de 7,1 s m⁻¹, para a planta 2 (AF=13,9 m²),

¹ Trabalho realizado com apoio da FAPESP.

² Pesquisador EMBRAPA/CNPM - Rua Júlio Soares de Arruda, 803 – 13088-300 – Campinas, SP. fabio@cnpm.embrapa.br

³ Prof. Associado, Setor de Agrometeorologia – DCE/ESALQ/USP - Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP. Bolsista CNPq.

⁴ Doutorando do PPG em Física do Ambiente Agrícola - Setor de Agrometeorologia – DCE/ESALQ/USP. Bolsista CAPES.

com reduzida amplitude de variação diária. Esses valores são próximos dos encontrados por Kalma & Fuchs (1976) e por Marin (2000) em pomar de lima ácida "Tahiti", indicando que os valores de ra tendem a manter-se estáveis entre 40 s m^{-1} e 50 s m^{-1} para culturas com cobertura esparsa do terreno.

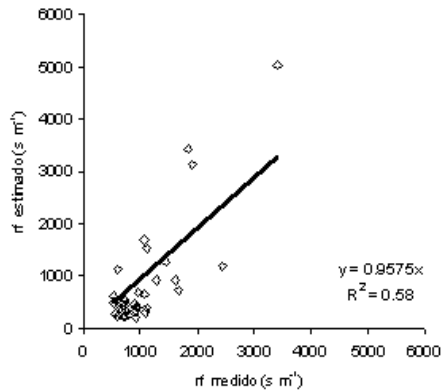


Figura 1. Correlação entre os valores estimados e medidos de resistência foliar à difusão de vapor (rf).

O total de energia radiante absorvida pelas cafeeiros foi cerca de 8 vezes maior que a absorvida por unidade de área de gramado, considerando-se o valor absorvido pelas quatro plantas (Figura 2). Análises semelhantes feitas por Angelocci et al. (1999) utilizando plantas de lima ácida "Tahiti" com $AF=40 \text{ m}^2$ em comparação com gramado, verificaram que as plantas cítricas captaram cerca de 12 vezes mais energia radiante que o gramado. Assim, considerando-se que a AF somada dos quatro cafeeiros resulta no mesmo valor da árvore de lima ácida estudada por Angelocci et al. (1999), vê-se que essa apresenta uma capacidade de absorção de energia radiante cerca de 50% maior que os cafeeiros, por unidade de área foliar.

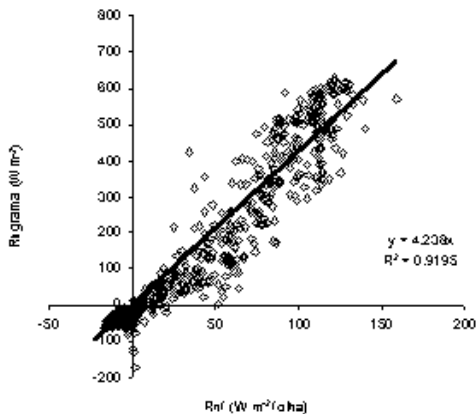


Figura 2. Correlação entre os valores de saldo de radiação medidos sobre gramado (Rngrama) e a energia radiante absorvida no comprimento do renque ocupada por quatro cafeeiros, expressa por unidade de área foliar (Rnf).

A transpiração máxima é aquela que ocorre em uma planta sem restrição hídrica, e considerada igual aos valores medidos de fluxo de seiva quando estes são integrados para períodos de 24 horas. Na Figura 3 são apresentadas as correlações entre os totais diários de transpiração máxima estimada com o modelo de Penman-Monteith, verificando-se uma tendência de superestimativa pelo modelo na planta 2 ($AF=13,9 \text{ m}^2$), e subestimativa na planta 4 ($AF=6,0 \text{ m}^2$). O valor R^2 variou entre 0,41 e 0,57 para as quatro plantas, com o teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade para todas as regressões.

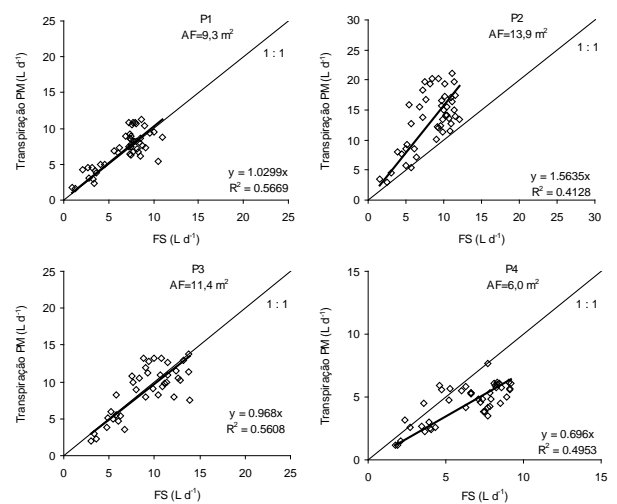


Figura 3. Relação entre a transpiração máxima de quatro cafeeiros estimada com o modelo de Penman-Monteith (Transpiração PM) e as medidas de fluxo de seiva (FS).

Uma causa para as discrepâncias entre os valores estimados e medidos para as plantas 2 e 4 é a forma de determinação da Rnf, amostrando-se simultaneamente as 4 plantas. Com isso, admite-se que a absorção de energia radiante pelas plantas tem relação linear positiva com a área foliar, o que parece não ocorrer em se tratando de cafeeiros. O que se pode deduzir desses dados é que a planta 2, apesar de ter três vezes mais AF que a planta 4, não tem transpiração proporcionalmente maior devido ao efeito do auto-sombreamento. Essa característica também pode ter efeito sobre o modelo de Penman-Monteith, que considera uma relação linear direta entre a taxa de transpiração e a área foliar, o que seria válido até determinados valores de transpiração, a partir dos quais a relação passaria a ser assintótica.

Como forma de avaliar essa hipótese, aplicou-se a equação 1 para uma planta com AF igual a soma dos 4 cafeeiros ($40,6 \text{ m}^2$), comparando-a com a soma das medidas do fluxo de seiva. Na análise de regressão linear obteve-se que $b=0,95$ e $R^2=0,38$, comprovando que a forma de determinação de Rnf foi uma importante causa para as discrepâncias verificadas na estimativa da transpiração máxima dos cafeeiros com o modelo de Penman-Monteith.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELOCCI, L. R.; VILLA NOVA, N. A. Medida do saldo de energia radiante na copa de lima ácida In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1999, Florianópolis. **Anais**. p.2192-2198.
- KALMA, J.D.; FUCHS, M. Citrus orchards. In: **Vegetation and the atmosphere**, v.1, Academic Press: New York, p. 309-328. 1976.
- LANDSBERG, J.J.; JONES, H.G. **Apple orchards**. In: T.T. Koslowski (ed.), Water Deficits and Plant Growth. - Wood plants community. New York: Academic Press, v. 4, 1981. p.419-469.
- LANDSBERG, J.J.; POWELL, D.B.B. Surface exchange characteristics of leaves subject to mutual interference. **Agricultural Meteorology**, v.12, p.169-184, 1973.
- MARIN, F.R. *Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida "Tahiti"*. 2000. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP. 74p.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z. Modelo simplificado para estimativa da resistência à difusão de vapor de árvores de lima ácida "Tahiti". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.227-233, 2001.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and Environment. **Symposium of Society of Experimental Biology**. v.19, p.205-234. 1965.