

ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO DE MACIEIRAS EM POMARES IRRIGADOS PELO MÉTODO ADVECÇÃO-ARIDEZ ADAPTADO

Nilson Augusto VILLA NOVA¹, Luiz Roberto ANGELOCCI¹, Charles VALANCOGNE²,
Antonio Roberto PEREIRA¹, Paulo Cesar SENTELHAS³

RESUMO

O trabalho propõe uma adaptação do modelo de advecção-aridez de Bouchet (1963) para a estimativa diária da transpiração de árvores, utilizando a área foliar como variável relativa à planta. Os valores obtidos pelo modelo adaptado foram comparados com valores diários de transpiração (fluxo de seiva) em macieiras determinados através do método do balanço de calor, na região de Bordeaux, França, nos anos de 1988 e 1989, em macieiras cuja área foliar variou aproximadamente de 4 a 20m². Os resultados obtidos mostraram que o método proposto apresentou resultados comparáveis com os de fluxo de seiva, com elevada precisão, sendo $R^2 = 0,94$ no ano de 1988 e $R^2 = 0,98$ no ano de 1989, e exatidão, sendo $a \approx 0$ e $b \approx 1$ nos dois anos estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Transpiração, macieira, área foliar, fluxo de seiva e método do balanço de calor.

INTRODUÇÃO

A transpiração de plantas é uma variável dependente do clima, do solo e da planta, sendo portanto de difícil medida no campo, principalmente em árvores. Nesse caso, entre os métodos de estimativa desse processo biofísico destacam-se os que utilizam a medida do fluxo de seiva por fornecimento de calor ao tronco ou ramo, dentre eles o de balanço de calor (Sakuratani, 1981), o qual vem sendo bastante utilizado em estudos de relações hídricas. Valancogne e Nasr (1993) demonstraram que para macieiras de pequeno porte e sem deficiência hídrica no solo, o fluxo de seiva determinado por esse método pode representar bem a transpiração na escala diária.

Apesar da grande aceitação dos métodos baseados em fornecimento de calor, eles apresentam certas restrições para uso rotineiro em árvores nas condições de campo. Para aplicações

¹ Dr., Professor Associado. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

² Pesquisador Científico, Laboratoire de Bioclimatologie, Centre de Recherches Agronomique de Bourdeaux, Institut National de la Recherche Agronomique, B.P. 81, 33883 Villenave D'Ornon Cedex, France.

práticas, é altamente desejável a utilização de modelos de estimativa, que levam em consideração os elementos climáticos e parâmetros da planta.

A equação de Penman-Monteith adaptada para o cálculo da transpiração em folhas vem sendo utilizada na estimativa da transpiração de macieiras isoladas (Thorpe, 1978; Green et al., 1995; Angelocci, 1996). Para aplicá-la faz-se necessário, além do conhecimento dos dados meteorológicos usuais (radiação líquida, temperatura, déficit de saturação do ar e velocidade do vento), avaliar-se parâmetros da planta, tais como a resistência à difusão de vapor da folha e a resistência aerodinâmica, as quais apresentam grandes dificuldades em sua determinação.

Angelocci (1996) conseguiu resultados razoáveis no uso do modelo de Penman-Monteith para determinação da transpiração diária da macieira em pomar sob boas condições hídricas, quando comparados com as medidas de fluxo de seiva pelo método de balanço de calor. A resistência aerodinâmica foi estimada através das equações derivadas de Landesberg et al. (1973), e a resistência foliar à difusão de vapor pelo modelo de Thorpe et al. (1980). No entanto, o autor observou que a estimativa dessas duas variáveis é o ponto crítico do modelo, dificultando a abrangência do seu emprego.

O presente trabalho propõe um método de estimativa da transpiração de árvores isoladas adaptado do modelo advecção-aridez de Bouchet (1963), o qual dispensa a utilização das variáveis resistência à difusão de vapor da folha e resistência aerodinâmica.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo utilizado baseia-se na equação de Bouchet (1963) para evapotranspiração real, com introdução da equação de cálculo da evapotranspiração potencial de Penman:

$$ETR = \frac{2\alpha W R_n}{I} - [W R_n + 2,62 (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e] \quad (1)$$

em que: ETR é a evapotranspiração real ($\text{l.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), W é um fator de ponderação dependente da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico, R_n é a radiação líquida ($\text{MJ. m}^{-2}.\text{d}^{-1}$), α é o parâmetro de Priestley-Taylor, igual a 1,26 para vegetação rasteira, U é a velocidade do vento a 2m de altura (m.s^{-1}), Δe é o déficit de saturação do ar (kPa) e λ é o calor latente da água ($2,45 \text{ MJ. kg}^{-1}$ a 20°C).

³ Dr., Professor Assistente. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

A equação (1) pode ser simplificada assumindo a forma:

$$ETR = \frac{(2a - 1) W Rn}{I} - 2,62 (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e$$

(2)

ou ainda, sendo $\alpha = 1,26$ e $\lambda = 2,45 \text{ MJ.Kg}^{-1}$:

$$ETR = 0,62 W Rn - 2,62 (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e$$

(3)

Considerando-se que a equação (3) utiliza variáveis que definem a evapotranspiração potencial de uma superfície gramada, pode-se admitir que ela equaciona a evapotranspiração ocorrida em área coberta com $2,88\text{m}^2$ de superfície foliar desse tipo de vegetação por metro quadrado de terreno. Medidas realizadas em lisímetros com célula de carga e cultivados com grama tem comprovado esta hipótese.

Nestas condições, definindo-se uma transpiração (T) por unidade de área foliar, a equação (3) torna-se:

$$T = \frac{0,62 W Rn}{2,88} - \frac{2,62}{2,88} (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e$$

(4)

ou ainda:

$$T = 0,215 W Rn - 0,91 (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e$$

(5)

sendo T a transpiração em litros por metro quadrado de folha por dia.

Assim, desde que a equação (5) expressa a transpiração real por metro quadrado de folha por dia, em função dos elementos climáticos locais, qualquer árvore de área foliar (A_f) conhecida terá sua transpiração real (T) dada pela seguinte equação:

$$T = [0,215 W Rn - 0,91 (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e] A_f$$

(6)

A equação (6) é válida para dados meteorológicos obtidos no período diurno. No caso da utilização de dados diários essa equação é corrigida multiplicando-se R_n pelo fator 1,075 (razão entre a R_n diurna e R_n diária) e o termo advectivo por $(N-1)/24$, sendo N o fotoperíodo em horas. Assim, a equação (6) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$T = [0,230 W R_n - 0,91 \left(\frac{N - 1}{24}\right) (1 - W) (1 + 0,526 U) \Delta e] Af$$

(7)

O modelo foi aplicado em macieiras crescendo em dois pomares irrigados por gotejamento na região de Bordeaux, SW da França, conduzidos em sistema de renque e os valores obtidos foram comparados com os de fluxo de seiva diário obtidos com o método do balanço de calor, em experimentos conduzidos em julho dos anos de 1988 e 1989. No primeiro ano, o pomar tinha 3,5 ha, com a variedade Granny Smith e árvores com 6 anos de idade (espaçamento 4,0 m X 1,0 m); no segundo ano tinha área de 2,2 ha, com a variedade Oregon e plantas com idades de 3 e 5 anos, alternadas na linha de plantio (espaçamento 4,7 m X 1,6 m). Foram utilizadas 9 árvores (5 em 1988 e 4 em 1989) cuja área foliar variou aproximadamente de 4 a 20m². Os dados meteorológicos utilizados foram para o período diurno em 1988 e diários em 1989, sendo a R_n obtida em superfície gramada no primeiro ano e no pomar no segundo. Detalhes das medidas meteorológicas e de fluxo de seiva podem ser obtidos em Angelocci (1996). Os procedimentos para a determinação de área foliar, bem como a demonstração da existência de uma relação linear fluxo de seiva diário e área foliar nas condições experimentais encontram-se Angelocci e Valancogne (1993).

Os dados medidos e estimados de T foram comparados através da análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os dados meteorológicos e os resultados da transpiração medida pelo fluxo de seiva e estimada pela equação proposta neste trabalho, para 12 dias de observações em 1988 e 13 em 1989.

Apesar de o método de balanço de calor não ser considerado como um padrão para estimativa de transpiração de árvores, das aproximações contidas no modelo de estimativa e dos erros de medida das variáveis nele utilizadas, observa-se que houve grande concordância entre os dados medidos e os estimados para todas as árvores avaliadas, com os resultados apresentando alta

precisão, $R^2 = 0,9372$ no ano de 1988 e $R^2 = 0,9808$ no ano de 1989, e também elevada exatidão, $b = 1,00$ em 1988 e $b = 0,99$ em 1989 (Figuras 1 e 2).

Tabela 1. Dados meteorológicos e transpiração medida (FS) e estimada (T) para árvores de macieira, na região de Bordeaux, França, no ano de 1988.

DJ	Dados Meteorológicos					ARV. 1		ARV. 2		ARV. 3		ARV. 4		ARV. 6	
	Rn MJ.m ⁻² .d ⁻¹	T °C	W	Δe kPa	U ms ⁻¹	Af = 9,3m ²		Af = 11,3m ²		Af = 4,7m ²		Af = 7,5m ²		Af = 8,1m ²	
						litros.d ⁻¹									
						T	FS	T	FS	T	FS	T	FS	T	FS
184	7,3	16,8	0,66	0,15	2,24	8,7	7,8	10,5	8,4	4,4	4,2	7,0	6,2	7,5	7,1
186	9,7	18,5	0,67	0,49	1,28	10,6	11,7	13,7	13,9	5,4	5,8	8,6	8,4	9,3	10,6
188	14,5	19,3	0,68	0,56	0,70	17,6	18,2	21,3	20,5	8,9	8,4	14,1	13,8	15,3	15,7
191	14,3	19,5	0,68	0,64	0,77	17,0	16,7	20,6	19,6	8,6	7,5	13,7	13,4	-	-
192	16,0	21,3	0,70	0,83	0,83	19,5	20,2	23,7	23,2	9,8	8,7	15,7	16,0	-	-
198	12,0	17,6	0,66	0,54	1,02	14,7	16,3	17,8	19,8	7,4	6,8	11,8	13,3	12,8	13,6
199	14,9	19,1	0,68	0,70	0,77	17,4	17,9	21,2	21,8	8,8	7,4	14,0	14,4	15,2	15,3
200	15,5	20,5	0,69	0,75	0,51	19,1	17,8	23,1	21,4	9,6	7,3	15,4	14,6	16,6	14,9
201	10,5	21,9	0,71	0,78	1,02	11,9	15,7	14,5	16,8	6,0	6,4	9,6	12,0	10,4	13,0
203	13,1	22,2	0,70	0,54	0,77	16,4	15,8	20,0	19,4	8,3	8,5	13,3	13,1	14,3	13,8
205	9,2	23,4	0,72	0,50	1,47	11,2	9,7	13,7	12,6	5,7	5,4	9,1	7,8	9,3	10,3
206	13,5	19,1	0,67	0,62	1,41	15,3	15,5	18,6	20,8	7,7	7,5	12,3	13,1	13,3	13,9

DJ = dia juliano; Af = área foliar. As falhas de dados são decorrentes de problemas nas medidas do fluxo de seiva.

Tabela 2. Dados meteorológicos e transpiração medida e estimada para árvores de macieira, na região de Bordeaux, França, no ano de 1989.

DJ	Dados Meteorológicos					ARV. 1		ARV. 2		ARV. 7		ARV. 10			
	Rn MJ.m ⁻² .d ⁻¹	T °C	W	Δe kPa	U m.s ⁻¹	Af = 20,6m ²		Af = 15,7m ²		Af = 7,8m ²		Af = 4,8m ²			
						litros.d ⁻¹									
						T	FS	T	FS	T	FS	T	FS		
182	13,6	20,7	0,70	0,65	1,68	37,8	39,5	28,8	28,7	14,3	13,7	8,9	9,1		
184	19,7	19,7	0,69	1,01	1,73	53,0	52,5	40,5	36,9	20,1	17,6	12,4	11,1		
185	19,4	22,5	0,71	1,41	1,62	52,0	58,8	39,7	40,5	19,7	20,3	12,2	11,8		
186	11,0	22,0	0,71	0,83	1,10	30,3	30,2	23,1	23,1	11,5	12,7	7,1	7,9		
187	12,2	21,8	0,71	0,58	1,40	34,9	31,4	26,6	23,3	13,2	12,2	8,2	7,3		
190	5,8	19,4	0,67	0,29	1,42	15,2	16,9	-	-	5,8	6,3	3,6	4,6		
191	11,3	20,6	0,70	0,51	1,03	32,0	29,9	24,5	24,6	12,1	11,5	7,5	7,0		
192	14,7	20,5	0,69	0,74	1,18	41,3	38,3	31,7	30,3	15,8	14,4	9,8	9,0		
193	17,0	21,6	0,71	1,05	1,25	47,6	45,6	36,3	35,3	18,0	18,1	11,2	10,6		
194	18,5	21,9	0,71	1,15	1,26	52,0	47,7	39,8	36,2	19,8	18,8	12,2	11,3		
195	13,1	20,8	0,68	0,73	1,51	34,9	37,5	26,7	31,4	13,2	14,2	8,0	8,4		
197	19,1	23,9	0,73	1,88	1,25	52,4	55,7	40,0	41,2	19,8	18,1	12,3	13,1		
198	19,1	24,9	0,74	2,00	1,14	53,9	53,4	41,5	40,5	20,4	21,7	12,7	11,7		

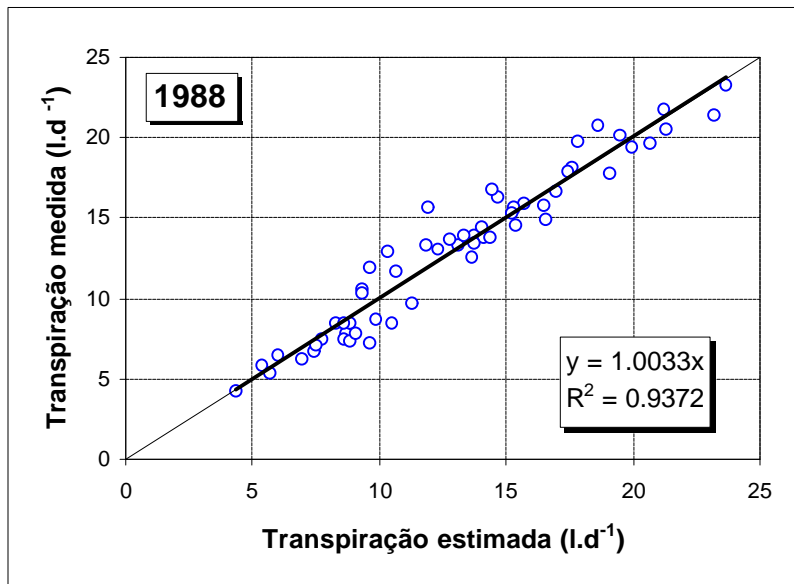


Figura 1. Relação entre a transpiração medida (fluxo de seiva) e a estimada para árvores de macieira, na região de Bordeaux, França, no ano de 1988.

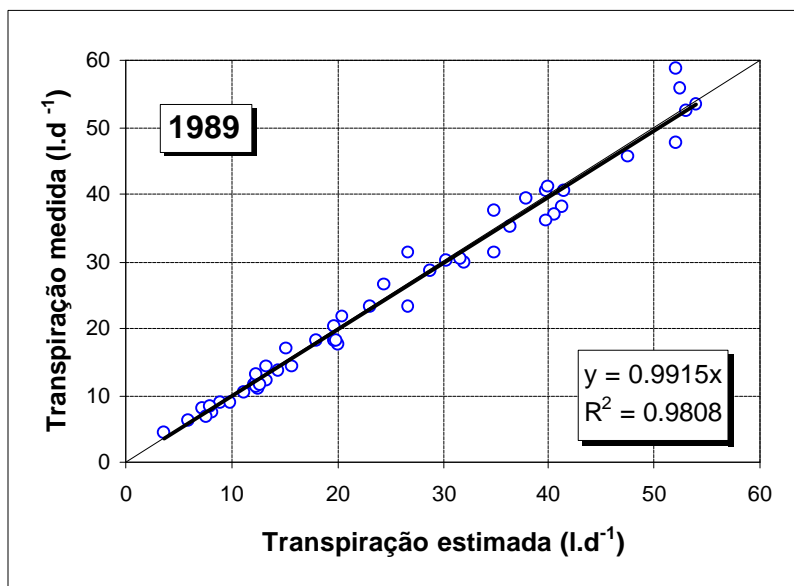


Figura 2. Relação entre a transpiração medida (fluxo de seiva) e a estimada para árvores de macieira, na região de Bordeaux, França, no ano de 1989.

CONCLUSÕES

1. O método proposto para a estimativa da transpiração de árvores isoladas mostrou-se bastante consistente em função dos resultados obtidos.
2. Supõe-se que o método possa ser aplicado a qualquer árvore isolada, fato que deve ser testado por novas experimentações.

BIBLIOGRAFIA

- ANGELOCCI, L.R. Estimativa da transpiração máxima em macieiras (*Malus spp*) em pomares pelo método de Penman-Monteith. Piracicaba, 1996. 95p. Tese (Livre-Docência) -Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ANGELOCCI, L.R. ; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 2,p. 299-307,1993.
- BOUCHET, R.J. Évapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle, et production agricole. **Annales Agronomiques.**, v .14, p.743-824, 1963.
- GREEN, S.R.; McNAUGHTON, K.G.; GREER, D.H.; MACLEOD, D.J. Measurement of the increased PAR and net all-wave radiation absorption by an apple tree caused by applying a reflective ground covering.. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 76, p. 163-183, 1995.
- LANDSBERG, J.J.; POWELL, B.B.; BUTLER, D.R. Microclimate in an apple orchard. **Journal of Applied Ecology**, v.10, p.881-896, 1973.
- THORPE, M.R. Net radiation and tanspiration of apple trees in rows. **Agricultural Meteorology**, v. 19, p. 41-57, 1978.
- THORPE, M.R.; WARRIT, B.; LANDSBERG, J.J. Responses of apple leaf stomata: a model for single leaves and whole tree. **Plant, Cell and Environment**, v.3, p.23-27, 1980.
- VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. Water transport in plants under climat stress. Cambridge University Press, p. 166-173, 1993.