

ISSN 0104-1347

Modelo simplificado para estimativa da resistência foliar à difusão de vapor de árvores de lima ácida “Tahiti”¹

Simple model to estimate the leaf diffusive resistance of “Tahiti” acid lime trees

Fábio Ricardo Marin², Luiz Roberto Angelocci³ e Evandro Zanini Righi⁴

Resumo - A resistência foliar à difusão de vapor (r_c), dentre as variáveis empregadas no modelo de Penman-Monteith, é a que apresenta a maior dificuldade para sua estimativa e para sua medida. Neste trabalho é apresentado um modelo simplificado para estimativa de r_c para árvores isoladas de lima ácida “Tahiti” sem restrição hídrica. Baseado no modelo da grande folha de Monteith, o modelo proposto admite que a cobertura vegetal pode ser representada por uma grande folha, com temperatura média igual à temperatura do ar que a envolve. Dessa forma, obteve-se um modelo baseado em variáveis meteorológicas de medida relativamente simples e em parâmetros biométricos da árvore. São propostas algumas correções de modo a torná-lo fisicamente mais coerente. Seu desempenho foi avaliado pela comparação com dados porométricos obtidos ao longo de vários dias de 1998, podendo-se avaliá-lo como de bom desempenho para estimativa de r_c , principalmente para as épocas de verão e para os horários intermediários de cada dia.

Palavras-chave: citros, Penman-Monteith, condutância foliar, evapotranspiração, transpiração.

Abstract - Among all variables used in Penman-Monteith model, the leaf diffusive resistance (r_c) is considered the most difficult to be determined under field conditions. In this study it is presented a simple model to estimate r_c for well watered acid lime trees, based on the Monteith's big leaf theory assuming that plant foliage can be represented by a single big leaf, with the same temperature of surrounding air. The proposed model is based on meteorological variables (net radiation, vapour pressure deficits and wind velocity) and tree biometrics parameters (leaf area index and crown silhouette area). Some adjustments are presented in order to improve its results. The model was evaluated comparing its results with porometric measurements along several days in 1998, showing good agreement between hourly data during daytime in the summer and early autumn days.

Key words: citrus, Penman-Monteith, leaf conductance, evapotranspiration, transpiration.

Introdução

O modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965) tem sido largamente utilizado nos últimos anos para determinação das perdas de água de coberturas vegetais. Para seu uso, o dossel vegetativo, o arranjo das resistências foliares à difu-

são de vapor (r_c) e a resistência da camada-limite das folhas (r_a) são substituídos por uma grande folha hipotética, com uma r_c e uma r_a associadas em série (STEWART, 1988). Essa abordagem, conhecida como modelo da grande folha (big leaf model), mesmo que simplificada, necessita que sejam conhecidas tais resistências (r_c e r_a), além das variáveis meteorológicas.

¹Extraído da dissertação de mestrado do primeiro autor.

²Eng^o Agr^o, Pós-graduando em Física do Ambiente Agrícola, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP. C.P. 09, 13418-900, Piracicaba, SP. Bolsista da FAPESP. farmarin@esalq.usp.br

³Eng^o Agr^o, Dr., Prof. Associado, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP. C.P. 09, 13418-900, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq. lrangelocci@esalq.usp.br

⁴Eng^o Agr^o, Pós-graduando em Física do Ambiente Agrícola, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ, USP. C.P. 09, 13418-900, Piracicaba, SP. Bolsista da CAPES. ezrighi@esalq.usp.br

A determinação de rc é tida como a maior dificuldade para a utilização da equação de Peman-Monteith de forma prática e preditiva (ALVES & PEREIRA, 2000). Nas últimas décadas, grande esforço tem sido feito no sentido de se modelar a resistência da cobertura vegetal à difusão de vapor a partir de variáveis meteorológicas, destacando-se os modelos de THORPE *et al.* (1980) e de GREEN & MCNAUGHTON (1997), ambos desenvolvidos para macieiras. Para citros, o modelo de SYVERTSEN & LLOYD (1994) foi proposto para estimativa da resistência estomática de folhas isoladas.

Baseados na abordagem proposta por JARVIS (1976), esses modelos são de difícil aplicação em termos práticos, principalmente em se tratando de superfícies vegetais com elevada variabilidade espacial e com estratos vegetativos submetidos a condições radiativas e aerodinâmicos diferenciadas. Estudos preliminares feitos para lima ácida “Tahiti” indicaram a inviabilidade do uso dessa abordagem para estimativas confiáveis.

Tendo em vista esse contexto e levando em consideração a dificuldade para a realização de medidas diretas de rc em condições de campo, propõe-se neste trabalho um modelo simplificado para sua estimativa em plantas sem restrição hídrica.

Material e métodos

A proposição baseia-se no enfoque utilizado por MONTEITH (1965) na descrição do modelo da grande folha, considerando a cobertura vegetal como possuidora de características de uma única grande folha com um regime médio único de temperatura, de déficit de pressão de vapor e de vento. Desprezando o fluxo de energia usado em síntese biológica, pode-se descrever o balanço de energia dessa cobertura a partir da equação (1):

$$Rn_{ef} \cong H + IE \quad (1)$$

em que: Rn_{ef} é o saldo de radiação efetivamente disponível à cobertura vegetal ($W m^{-2}$ de folha); H é a densidade de fluxo de calor sensível entre a cobertura e a atmosfera ($W m^{-2}$ de folha) (equação 2); $e\lambda E$ é a densidade de fluxo de calor latente proveniente da “grande folha” ($W m^{-2}$ de folha) (equação 3),

$$H = \frac{r cp (T_f - T_{ar})}{ra} \quad (2)$$

$$IE = \frac{r cp (e_f - e_{ar})}{g(rc + ra)} \quad (3)$$

em que: T_f temperatura da “grande folha” ($^{\circ}C$); T_{ar} temperatura do ar ($^{\circ}C$); ra a resistência aerodinâmica ($s m^{-1}$); ρ a densidade do ar seco ($kg m^{-3}$); cp é o calor específico do ar ($J ^{\circ}C^{-1} kg^{-1}$); e_f a pressão atual de vapor (kPa) da cavidade sub-estomática, considerada igual à pressão de saturação de vapor à temperatura da folha, devido ao valor de umidade relativa da cavidade ser muito próximo de 100%; e_{ar} é a pressão atual de vapor do ar (kPa); γ é o coeficiente psicrométrico ($kPa ^{\circ}C^{-1}$); rc é a resistência à difusão de vapor da “grande folha” ou simplesmente a “resistência da cobertura” ($s m^{-1}$).

Substituindo as equações (2) e (3) na equação (1), e admitindo-se para efeito de simplificação que, sob condições hídricas ideais, a temperatura média da grande folha seja igual a do ar, de modo que e_f seja igual à pressão de saturação de vapor do ar (e_s) obtém-se a equação (4), que se constitui numa forma alternativa para determinação da rc :

$$rc = \frac{r cp e_s - e_{ar}}{g Rn_{ef}} - ra = \frac{r cp \Delta e}{g Rn_{ef}} - ra \quad (4)$$

A equação (4), portanto, fornece uma estimativa de rc a partir de variáveis meteorológicas e da resistência aerodinâmica. Considere-se, no entanto, que o valor de rc assim determinado é referente à situação em que não há déficit hídrico na planta, ou seja, que a transpiração ocorra em taxa máxima, de modo que a diferença entre a temperatura do ar e das folhas não seja demasiadamente grande.

Nos casos de espécies hipoestomáticas, como é o caso dos citros, uma correção deve ser feita à equação (4) já que a resistência aerodinâmica é normalmente dada para ambos os lados da folha (LANDSBERG & POWELL, 1973) e, de acordo com as proposições feitas por THORPE *et al.* (1980), ra deve ser multiplicada por 2 para que haja coerência física na proposição (equação 5):

$$rc = \frac{r cp \Delta e}{g Rn_{ef}} - 2ra \quad (5)$$

A Rn_{ef} ($W m^{-2}$ de folha) foi obtida a partir do enfoque proposto por RITCHIE (1972) que considera que a extinção (absorção) do saldo de radiação por uma cobertura vegetal pode ser descrita pela lei

de Beer, na forma de uma função exponencial baseada no índice de área foliar (IAF) e do coeficiente de extinção (k) característico da vegetação, como mostra a equação (6):

$$Rn_{ab} = Rn_{ac} e^{(-k \cdot IAF)} \quad (6)$$

em que Rn_{ab} é o saldo de radiação abaixo da copa ($W m^{-2}$); Rn_{ac} é o saldo de radiação acima da copa ($W m^{-2}$); k é o coeficiente de extinção por unidade de índice de área foliar (adimensional); e IAF é o índice de área foliar (adimensional). O coeficiente de extinção foi determinado por MARIN (2000), tendo valor igual a 0,67.

A partir disso, o saldo de radiação efetivo pode ser determinado pela equação (7):

$$Rn_{ef} = \frac{Rn_{ac} (1 - e^{-k \cdot IAF})}{IAF} \quad (7)$$

Na forma proposta, fica evidente que a desconsideração do fluxo de calor sensível (H) é uma forte limitação do modelo. Uma forma para minimização desse erro é subtrair do valor de Rn_{ef} a fração convertida em calor sensível e, assim, tornar as estimativas mais realistas. Os estudos realizados por MARIN (2000) com o método da razão de Bowen, em pomar de lima ácida "Tahiti" com espaçamento de 8 X 6m e árvores de 4,5m com 8 anos de idade, em Piracicaba, SP, indicaram que H representou, em média, 22% do saldo de radiação do pomar durante a primavera/verão, época de chuvas abundantes e com cobertura total do terreno pela vegetação, e 33% no outono/inverno, no período entre 10h e 15h. Do início do dia até as 10h e após das 15h até o final da tarde, verificou-se que H pode ser desprezado. Portanto, a equação de estimativa de rc pode ser corrigida para uso no período entre as 10:00 e 15:00, considerando assim a fração de energia convertida em H :

$$rc = \frac{r \cdot cp \cdot \Delta e}{g \cdot 0,78 \cdot Rn_{ef}} - 2ra \quad \text{primavera/verão} \quad (8)$$

$$rc = \frac{r \cdot cp \cdot \Delta e}{g \cdot 0,67 \cdot Rn_{ef}} - 2ra \quad \text{outono/inverno} \quad (9)$$

Para avaliação do desempenho do modelo, medidas porométricas foram realizadas em uma

árvore do mesmo pomar de lima ácida acima descrito (MARIN, 2000) e consideradas como referência nas análises estatísticas. Essas medidas foram feitas com dois porômetros de equilíbrio dinâmico, (LI-COR, LI-1600 Steady State Porometer). Ao longo de seis dias de 1998, foram realizadas de 7 a 9 seqüências de medidas, amostrando-se 30 folhas (15 folhas por porômetro) num intervalo de tempo de 10 minutos, aproximadamente. Com vistas a otimizar a amostragem das folhas, dividiu-se a copa em três extratos, tomando-se medidas em cada um deles, além de se medir folhas expostas à radiação direta, sombreadas e folhas localizadas no centro da copa.

Um sistema automático de aquisição de dados (Campbell, CR10X) realizava medidas micrometeorológicas a cada segundo e médias a cada 15 minutos dos seguintes elementos: radiação solar global acima do nível médio das árvores (Li-Cor, LI200X); velocidade do vento (Young, O14A) na altura na altura média das copas (2,5m) conforme recomendação de LANDSBERG & JONES (1981); temperatura e umidade relativa do ar, (Vaisala, HTM45C). O saldo de radiação do pomar foi estimado a partir das relações entre radiação solar global e saldo de radiação do pomar apresentadas por MARIN et al. (2001). A Tabela 1 apresenta os valores médios de temperatura do ar, déficit de pressão de vapor (kPa) e radiação solar global do período diurno dos dias de medidas porométricas.

A resistência aerodinâmica (ra) da árvore ($s \cdot m^{-1}$) foi estimada com o modelo de LANDSBERG & POWELL (1973), que propuseram a seguinte equação para folhas com proteção mútua:

Tabela 1. Valores médios diurnos de temperatura do ar (Temperatura), déficit de pressão de vapor (DPV) e radiação solar global (RG) durante os dias de medidas porométricas em pomar de lima ácida "Tahiti", Piracicaba, SP.

Dia juliano	Temperatura (°C)	DPV (kPa)	RG (W.m ⁻²)
54	29,28	1,33	583
86	26,84	1,12	591
110	25,30	1,61	525
172	25,08	1,76	435
229	28,52	1,88	469
236	22,26	0,90	913
275	25,75	1,33	236
319	26,78	1,59	708

$$ra = 58 p^{0,56} \left(\frac{d}{u} \right)^{0,5} \quad (10)$$

em que p é a razão entre a área foliar e a área frontal (**silhueta**) de cada árvore; u ($m \cdot s^{-1}$) é a velocidade do vento e d (m) é uma dimensão característica das folhas.

Para a árvore avaliada, o fator p foi igual a 6,3 e a área frontal ou silhueta (S) da árvore foi calculada a partir de medidas de sua altura (H), da distância entre o solo e a parte inferior da copa (B) e de seu maior diâmetro (Φ), adotando-se que a copa tem forma elipsóide, de forma que S (m^2) pode ser obtido pela equação (11):

$$S = \frac{p[(H - B) + \Phi]^2}{16} \quad (11)$$

A dimensão característica das folhas foi considerada igual à raiz quadrada da área média das folhas (ANGELOCCI, 1997), igual a $23cm^2$ para a árvore avaliada. A área foliar total (AF) foi determinada pela contagem do número total de folhas, igual a 17280 neste caso, multiplicando-se por $23cm^2$ e obtendo-se AF igual a $39,7m^2$.

Resultados e discussão

Comparando-se as estimativas fornecidas pelas equações 5, 8 e 9 com as medidas porométricas ao longo de seis dias, pode-se observar uma boa concordância entre elas, principalmente no que diz respeito à sua tendência de variação diurna (Figura 1). As maiores discrepâncias foram verificadas principalmente no início e no final do período diurno, sendo que, para os dias de verão e outono (dias 54 a 172) houve boa concordância entre os valores fornecidos pelo modelo e os medidos com os porômetros. Pode-se notar que o desempenho das equações 8 e 9 foi comparativamente melhor que o da equação 5, principalmente nas primeiras horas na manhã e durante o meio do dia. Nos finais de tarde, as estimativas obtidas pelas equações 8 e 9 apresentaram maiores desvios em relação às medidas porométricas.

A despeito dos questionamentos a que estão sujeitas as medidas porométricas, tanto por problemas inerentes aos porômetros (DSO, 1987; IDSO et al., 1988; MONTEITH, 1990) como por proble-

mas de representatividade da amostragem, a análise de regressão indicou um bom ajuste entre os dados, sendo ambas as regressões significativas ao nível de 5%. Os dados estimados com as equações 8 e 9 aproximaram-se dos dados medidos, com coeficiente angular (b) de 0,84 e linear (a) de 0,85 e coeficiente de correlação (R^2) de 0,41 (Figura 2b). Com os dados da equação 5, o nível de ajuste foi inferior ($a = -14,27$; $b = 0,69$; $R^2 = 0,42$), denotando uma tendência de subestimava do modelo, principalmente em condições de elevada rc . Forçando-se a passagem pela origem, é possível verificar uma sensível diferença entre o desempenho das equações, sendo que, com os dados fornecidos pelas equações 8 e 9, obteve-se $b=0,84$ e $R^2=0,41$. Para a análise de regressão com as estimativas da equação 5, obteve-se $b=0,67$ e $R^2=0,41$.

Interessante notar que nos períodos em que as equações 8 e 9 apresentaram os maiores desvios, a transpiração ocorre geralmente a taxas muito baixas, o que reduz a importância desses erros na estimativa da evapotranspiração diária. Em termos médios, os valores estimados não se diferenciaram daqueles usualmente medidos em plantas cítricas, como os encontrados nos trabalhos de VAN BAVEL et al. (1967), HIGELMAN et al. (1969) citado por KALMA & FUCHS, (1976) e COHEN & COHEN (1983), que variaram entre 500 e 1800 m^1 para vários dias de medida, com condições meteorológicas diversas.

Uma outra limitação desse método pode ser identificada facilmente analisando-se a Figura 3. Tomando-se por base a curva relativa ao déficit de pressão de vapor de 1,5kPa, pode-se verificar que, para altos níveis de Rn_{ef} , o valor de rc aproxima-se de zero, o que é incoerente do ponto de vista fisiológico, já que a resposta estomática à radiação solar é descrita por uma relação assintótica, em que a mínima resistência (ou a máxima condutância) é atingida por volta de 200 $W m^{-2}$ para a maior parte das espécies (JONES, 1992). Dessa forma, as curvas apresentadas na Figura 3, por não considerarem esse aspecto da saturação luminosa dos estômatos, passam a fornecer valores incoerentes quando a Rn_{ef} supera os 200 $W m^{-2}$, para baixos níveis de déficit de pressão de vapor.

Analisando-se os dados referentes aos dias 229 e 236, é possível identificar também o efeito do déficit de pressão de vapor sobre os valores medidos de rc . No dia 229 o Δe esteve próximo dos 3,0kPa durante a maior parte do dia, evidenciando que, para condições de Δe muito elevado, o modelo proposto

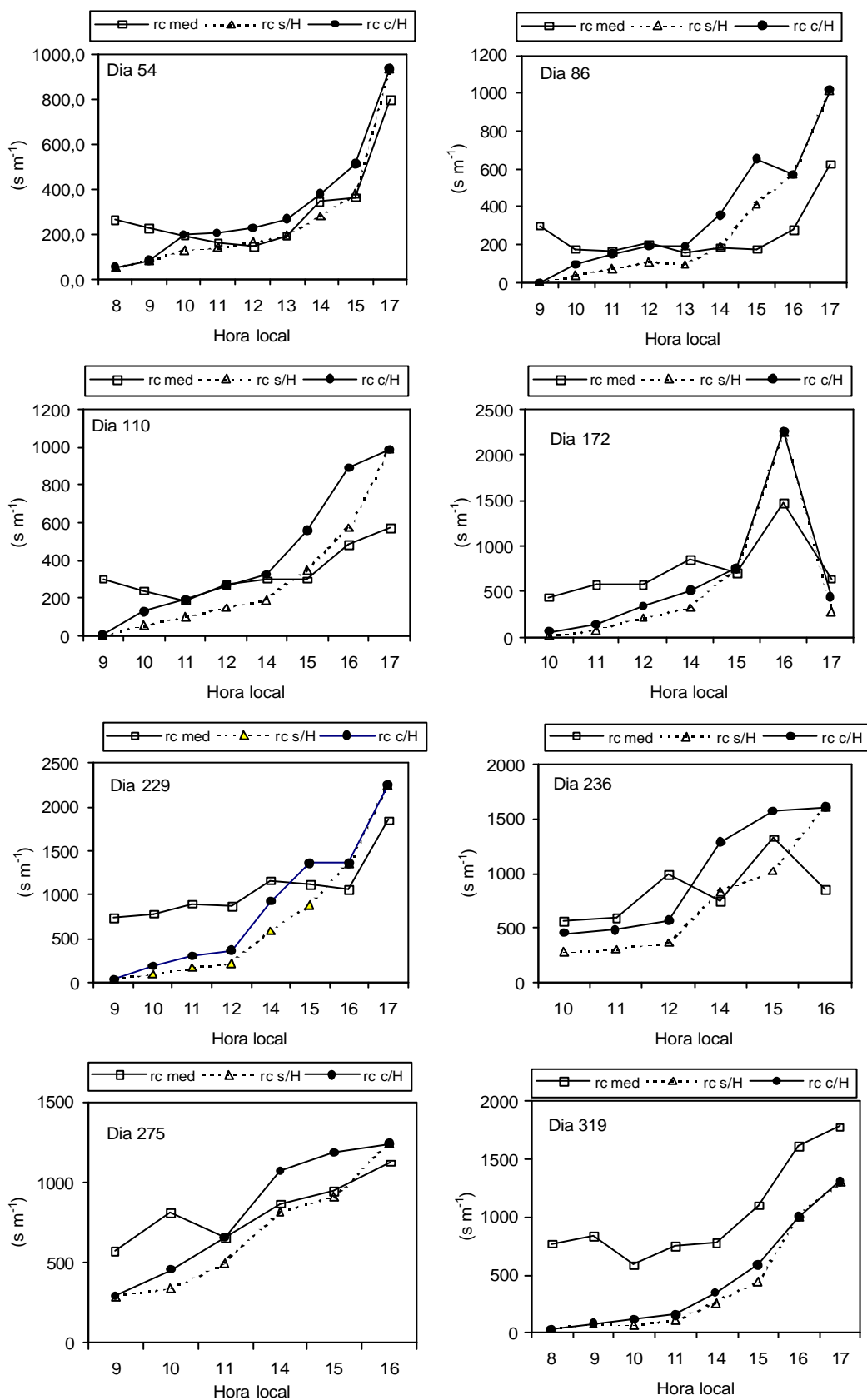


Figura 1. Variação diurna da resistência foliar à difusão de vapor estimada com as equações 5 ($rc\ s/H$) e 8 ou 9 ($rc\ c/H$) e medida ($rc\ med$) em pomar de lima ácida "Tahiti", em Piracicaba, SP.

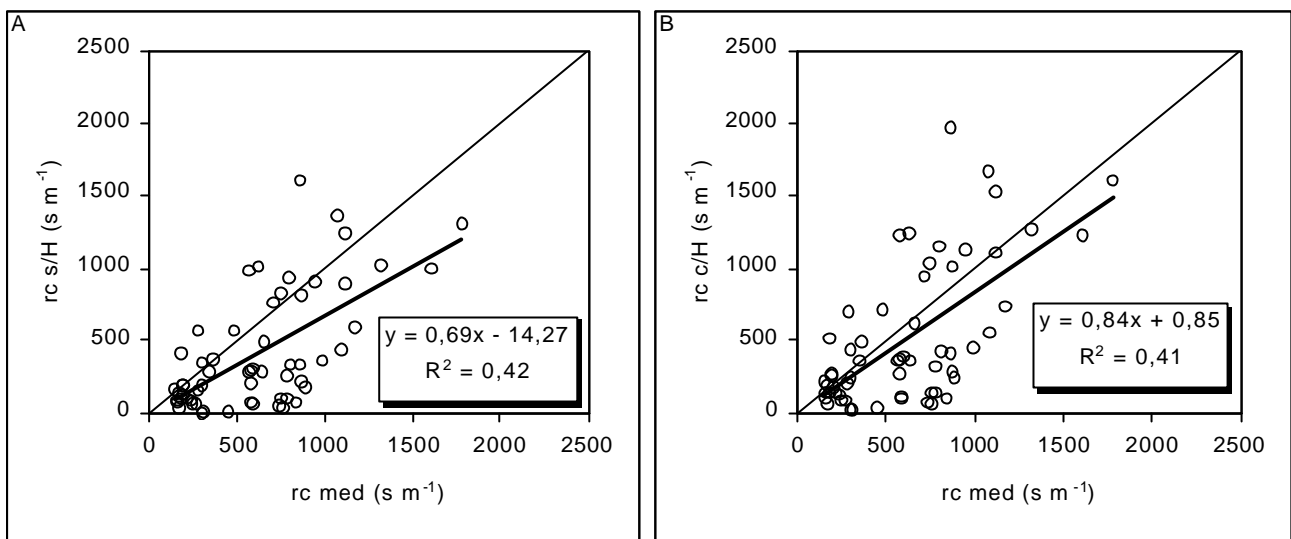


Figura 2 Relação entre a resistência foliar à difusão de vapor medida em lima ácida “Tahiti” e estimada com as equações 5 ($rc\ s/H$) [a] e 8 ou 9 ($rc\ c/H$) [b], em Piracicaba, SP.

não representou adequadamente a variação de rc . Já no dia 236, apesar das condições ambientais terem sido semelhantes às do dia 229, ele manteve-se aquém dos 2,0 kPa (Tabela 1), resultando num desempenho comparativamente melhor que o do dia 229. De forma oposta, pode-se apontar também como causa de desvios de estimativa os baixos valores de Δe comumente verificados no início do dia, levando as estimativas de rc a valores próximos de zero.

Além disso, os valores estimados pouco concordantes com os medidos em um dia de inverno

(no caso, dia 172) devem ser decorrentes de baixa temperatura. Sabe-se que os citros, quando expostos a temperaturas inferiores a 20°C, apresentam grande aumento da resistência à difusão de vapor das folhas (VU & YELENOSKI, 1987; LLOYD & HOWIE, 1989). Não se sabe se esse fato decorre de um efeito direto da temperatura sobre a resposta estomática ou de um efeito indireto, pela diminuição da condutividade hidráulica das raízes (SYVERSTSEN & LLOYD, 1994). Como no dia citado a temperatura esteve abaixo de 20°C na maior parte do período de medidas, e como esse efeito não é considerado pelo modelo, provavelmente essa seja a causa das discrepâncias entre estimativas e medidas, principalmente até as 12h.

Diante dos resultados obtidos, fica evidente a necessidade de estudos adicionais relativos à estimativa de rc , sendo que, segundo PEREIRA *et al.* (1999), aqueles baseados no método da razão de Bowen são os mais indicados para esse fim, por facultarem a estimativa de rc sem a necessidade de conhecer a taxa de evapotranspiração da superfície e também sem a necessidade de se desconsiderar o fluxo de calor sensível.

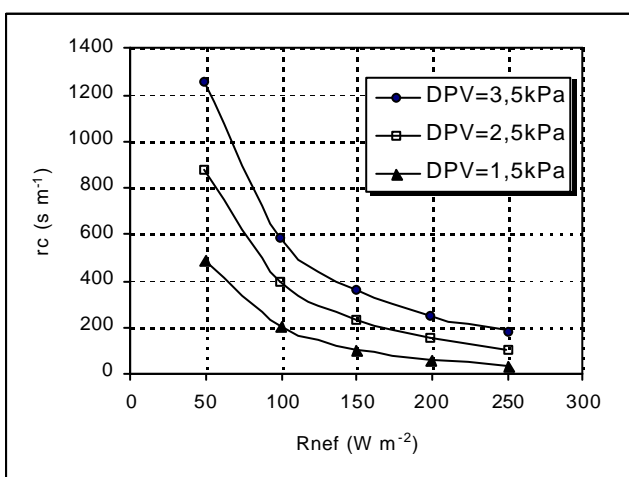


Figura 3. Variação da resistência de cobertura estimada (rc) com o saldo de radiação efetivo (R_{nef}) para déficit de saturação de vapor (DPV) de 3,5kPa; 2,5kPa e 1,5kPa e para resistência aerodinâmica constante de 45 $s.m^{-1}$.

Conclusões

Os valores de resistência foliar à difusão de vapor estimada com as equações 8 e 9 ($rc\ c/H$) apresentam uma melhor concordância com os valo-

res medidos em relação às estimativas da equação 5 (rc s/H). O ajuste dos dados é melhor nos horários intermediários dos dias de medida e durante a época mais quente do ano. Nos horários finais de cada dia ocorrem os maiores desvios em relação aos valores medidos.

Referências bibliográficas

- ALVES, I., PEREIRA, L.S. Modelling surface resistance from climatic variables? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 42, p. 371-385, 2000.
- ANGELOCCI, L.R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (*Malus spp.*) em pomares pelo modelo de Penman-Monteith**. Piracicaba, 1997. 103 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, 1997.
- COHEN, S., COHEN, Y. Field studies of leaf conductance response to environmental variables in citrus. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v. 20, p. 561-570, 1983.
- GREEN, S.R., MCNAUGHTON K.G. Modelling effective stomatal resistance for calculating transpiration from an apple tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 83, n. 1-2, p. 1-26, 1997.
- IDSO, S.B. An apparent discrepancy between porometry and infrared thermometry. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 40, p. 105-106, 1987.
- IDSO, S.B., ALLEN, S.G., CHOULDHURY, B.J. Problems with porometry: measuring stomatal conductances of potentially transpiring plants. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, p. 49-58, 1988.
- JARVIS, P.G. The interpretation of variations in the leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London B, v. 273, p. 563, 1976.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2. ed., Cambridge : Cambridge University Press, 1992. 428 p.
- KALMA, J.D., FUCHS, M. Citrus orchards. In: **Vegetation and the atmosphere**, v. 1, New York : Academic Press, 1976. p. 309-328.
- LANDSBERG, J.J., POWELL, D.B.B. Surface exchange characteristics of leaves subject to mutual interference. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 12, p. 169-184, 1973.
- 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, 1981. V. VI, cap. 4, p. 419-469.
- LLOYD, J, HOWIE, H. Salinity, stomatal responses and whole tree conductivity of orchard Washington Navel orange. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 16, p. 169-179, 1989.
- MARIN, F.R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida "Tahiti"**. Piracicaba : USP, 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2000.
- MARIN, F.R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C et al. Relações entre o saldo de radiação de pomar de lima ácida "Tahiti", saldo de radiação de gramado e radiação solar global. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Buenos Aires, v. 1, n. 1, p. 59-62, 2001.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and Environment. **Symposium of Society of Experimental Biology**. Cambridge, v. 19, p. 205-234, 1965.
- MONTEITH, J.L. Porometry and baseline analysis: the case for compatibility. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, p. 155-167, 1990.
- PEREIRA, L.S., PERRIER, A., ALLEN, R.G. et al. Evapotranspiration review of concepts and future trends. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.125, p. 45-51, 1999.
- RITCHIE, J.E. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water resources research**, Washington v. 8, n. 5, p. 1204-1213. 1972.
- STEWART, J.B. Modelling surface conductance of pine forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, p. 19-35, 1988.
- SYVERSTEN, J.P., LLOYD, J.J. Citrus. In: SCHAFFER, B., ANDERSEN, P.C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops** Boca Ranton : CRC Press, 1994. 2 v. p. 65-101.
- THORPE, M.R., WARRIT, B., LANDSBERG, J.J. Responses of apple leaf stomata: a model for single leaves and a whole tree. **Plant, Cell and Environment**, Oxford v. 3, p. 23-27, 1980.
- VAN BAVEL, C.H.M., NEWMAN, J.E., HILGEMAN, R.H. Climate and estimated water use by an orange orchard. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 4, p. 27-37, 1967.
- VU, J.C., YELENOSKI, G. Photosynthetic characteristics in leaves of 'Valencia' orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] grown under high and low temperatures regimes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 27, p. 279-287, 1987.