

# TESTE DE UM MODELO PARA ESTIMATIVA DA CONDUTÂNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DA COBERTURA VEGETAL EM LIMA ÁCIDA 'TAHITI' EM POMAR IRRIGADO

Fábio Ricardo MARIN<sup>1</sup>, Luiz Roberto ANGELOCCI<sup>22</sup>

## RESUMO

A condutância à difusão de vapor (gs) de uma cobertura vegetal é importante tanto para estudos fisiológicos como para modelagem da perda de água como base para a irrigação. Há dificuldades tanto na sua medida como na sua estimativa, aumentadas quando se trabalha com coberturas esparsas, tipo pomar, nos quais o tipo da árvore, seu posicionamento e geometria da copa determinam a magnitude de fatores externos do ambiente que controlam gs. O modelo de Penman-Monteith, tem boa eficácia na quantificação dessa perda, principalmente para culturas anuais. Já para as cultura perenes, de cobertura esparsa, apresentada algumas dificuldades, entre elas, a determinação da condutância à difusão de vapor da cobertura vegetal (gs). O presente trabalho objetivou avaliar um modelo, baseado em variáveis microclimáticas do pomar, para estimativa de gs. A altíssima variabilidade espacial de gs na copa foi o principal dificuldade para o ajuste do modelo em condições de campo, sendo recomendados estudos em condições controladas para a determinação dos parâmetros utilizados nesse modelo. Indica-se também, frente aos resultados alcançados, a busca por outras formas para estimativa de gs à campo, como a quantificação do fluxo de seiva e condutância à difusão de vapor da camada limite ou aerodinâmica.

## INTRODUÇÃO

É fato reconhecido que a eficiência da irrigação passa pelo conhecimento da demanda hídrica de cada cultura, que por sua vez, é regulada por suas características biológicas e pelo clima da região.

Um intenso esforço para modela-la tem sido feito, baseando-se no clima e nos aspectos biométricos da cultura, buscando uma forma mais simples de estimar a demanda, mas que seja exequível na confecção dos projetos e na condução da irrigação.

Para isso, lança-se mão de modelos que estimem a perda d'água por superfícies vegetadas a partir de medidas microclimáticas, mais simples de serem obtidas à campo.

Esses modelos têm sido empregados com certo êxito, principalmente para culturas

---

<sup>1</sup> CPG em Agrometeorologia, Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, C.P. 9, CEP 13418-900 - Piracicaba - SP, fone: (019) 429-4283, e-mail: [farmarin@carpa.ciagri.usp.br](mailto:farmarin@carpa.ciagri.usp.br)

<sup>2</sup> Professor Associado, Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, C.P. 9, CEP 13418-900 - Piracicaba - SP, fone: (019) 429-4283, e-mail: [lrangelo@carpa.ciagri.usp.br](mailto:lrangelo@carpa.ciagri.usp.br)

anuais. Nos casos dos cultivos com cobertura "esparça", como os pomares, os estudos de campo e a modelagem são mais complicados, e têm recebido menor atenção dos pesquisadores, sendo que a FAO recomenda a intensificação dos estudos para tais culturas (Smith, 1991).

Um dos mais utilizados na prática é o "modelo da grande folha" ("big-leaf model"), apresentado como uma modificação do modelo de Penman por Monteith (1965) e, que tem sido utilizado com frequência para coberturas contínuas. Para culturas descontínuas, entretanto, a aplicação do modelo de Penman-Monteith é mais complicada, por problemas relacionados à determinação de suas principais variáveis, entre elas a condutância à difusão de vapor da cobertura vegetal.

O presente trabalho teve como objetivo testar 1 modelo para estimativa da condutância à difusão de vapor da cobertura vegetal ( $g_s$ ), dado em função de elementos microclimáticos, visando subsidiar modelos que necessitem dessa informação, como é o caso do modelo de Penman-Monteith.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Área Experimental de Irrigação da Fazenda Areião, do Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), situada no município de Piracicaba, SP, nas seguintes coordenadas geográficas: 22°42'30" de latitude Sul; 47°30'00" de longitude Oeste; e a 546 m de altitude.

Os estudos foram realizados em duas árvores de um pomar de lima ácida 'Tahiti' enxertado em limoeiro 'Cravo', com idade de 6 anos e espaçamento de 8 x 7 metros, irrigado por microaspersão.

Foram coletados dados microclimáticos por estação meteorológica automática, com sistema de aquisição Campbell Scientific, modelo CR10, com leitura a cada segundo e médias calculadas a cada 15 minutos.

As medidas de  $g_s$  foram feitas entre fevereiro e novembro de 98, utilizando-se dois porômetros de equilíbrio dinâmico, marca LI-COR, inc., modelo LI-1600 Steady State Porometer. Essas medições iniciaram-se por volta das 8:30 da manhã prolongando-se até as 17:30.

Entre fevereiro e setembro a amostragem baseou-se em 15 folhas tomadas aleatoriamente, amostrando-se folhas ao sol e à sombra, em cada terço em altura da copa, como representativas da árvore e, como contava-se com dois porômetros, amostrou-se 30 folhas em cada série de medidas, as quais duraram entre 15 e 20 minutos.

A partir de setembro, no entanto, a amostragem foi modificada da seguinte forma: 6

folhas expostas ao sol, sendo 2 em cada altura (baixa, média e alta); 6 folhas sombreadas, 2 em cada altura, posicionadas na camada externa da copa; e 3 folhas no interior da copa, divididas em três alturas, totalizando 15 folhas por série.

Essa alteração deveu-se principalmente ao altíssimo coeficiente de variação dentro de cada série, empregando-se a amostragem anterior. Além disso, buscou-se tornar mais homogêneas as amostras, reduzindo o tempo de amostragem de cada série, já que a variabilidade temporal verificada foi também altíssima (Angelocci et al., 1998).

O modelo proposto por esses autores integra os principais fatores que afetam a regulação no que respeita a ambiente externo, ou seja, a temperatura da folha, a radiação fotossinteticamente ativa e o déficit de saturação de vapor da atmosfera. É um modelo não linear que segue a abordagem proposta por Jarvis (1976). Para plantas de *Citrus paradisi* bem supridas hidricamente, teve uma consistência de 68% em relação aos dados medidos.

O modelo é:

$$g_s = \frac{\left[ \frac{PAR}{k_1 T_{opt}} \right] e^{\left( \frac{T_L - 1}{T_{opt}} \right) \frac{Es}{RT_L}} \left[ 1 + e^{\left( \frac{T_{opt} S - Hs}{T_{opt} R} \right)} \right]}{\left( \frac{T_L}{k_D \sqrt{D}} \right) + PAR} \frac{1}{1 + e^{\left( \frac{ST_L - H}{RT_L} \right)}} \quad (1)$$

onde  $Es = 60.000 \text{ J.mol}^{-1}$ ;  $H = 200.000 \text{ J.mol}^{-1}$ ;  $S = 710,77 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;  $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$  é a constante universal dos gases;  $k_1$  é uma constante que representa o PAR no qual  $g_s$  equivale a 50% do máximo possível na saturação de PAR ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $T_{opt}$  é a temperatura ótima da folha para a abertura estomatal (K);  $T_L$  é a temperatura da folha (K); PAR é a radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ );  $D$  é o déficit de pressão de vapor ( $\text{mmol.mol}^{-1}$ );  $k_D$  é uma constante que relaciona o déficit de pressão de vapor da atmosfera com a condutância ( $\text{s.m}^{-2}.\text{mol}^{-1}$ ).

Esse modelo teve seus parâmetros ajustados empiricamente a partir dos dados de folhas isoladas, e as estimativas foram confrontadas com os dados medidos para as diferentes formas de amostragem de  $g_s$ , ou seja: folhas isoladas; médias de 15 folhas; médias de 6 folhas expandidas; e médias de 6 folhas em expansão.

Para  $k_1$ , que relaciona  $g_s$  com a PAR, plotou-se a condutância contra PAR, tomando-se os maiores valores de condutância, pois o relacionamento entre ambos leva a um  $g_s$  assintótico (Figura 1) (Jones, 1992).

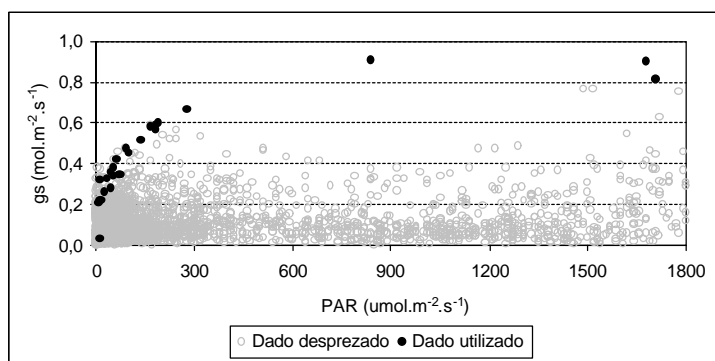


Figura 1. Distribuição da resposta de  $g_s$  em relação ao PAR e valores utilizados na determinação de  $k_1$ .

Para a determinação da temperatura ótima, foram plotados os valores de  $g_s$  e temperatura da folha e selecionados os maiores valores de  $g_s$  para cada faixa de temperatura, num procedimento semelhante àquele utilizado na determinação de  $k_1$ .

Finalmente, para determinação do parâmetro relacionado ao déficit de saturação de vapor da atmosfera,  $k_D$ , foi utilizada a relação proposta pelos autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Syverstsen & Lloyd (1994), para *Citrus paradisi*, propuseram para  $k_D$ ,  $k_1$  e  $T_{opt}$  os seguintes valores:  $1,8 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ ;  $110 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ; e  $303,3 \text{ K}$  ( $30,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). Utilizando-se esses valores, verifica-se forte subestimativa de  $g_s$  pelo modelo em relação aos dados medidos.

A determinação de  $k_1$  para limão 'Tahiti', no entanto, foi complicada pela falta de condições controladas que possibilitassem um estudo isolado da resposta estomática para cada variação de PAR, temperatura ou umidade. No entanto, a adaptação dos dados de campo, permitiu sugerir novos coeficientes, que não tiveram a precisão que seria conseguida num ambiente controlado.

Para determinação de  $k_1$ , a partir dos dados mostrados na Figura 1 e através de análise de regressão, obteve-se a seguinte equação:

$$g_s = 0,1474 \ln(\text{PAR}) - 0,2039 \quad (17)$$

Portanto, assumindo-se  $g_s$  máximo igual a  $0,9 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $k_1$  foi igual a  $84,5 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

Para a determinação da temperatura ótima, de maneira similar, a partir dos dados mostrados na Figura 2, obteve-se a seguinte relação entre temperatura da folha e  $g_s$ :

$$g_s = 2,83 - 0,429T + 0,0211T^2 - 0,000304T^3 \quad (18)$$

A partir de cálculo diferencial, obteve-se uma temperatura ótima igual a  $31,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ , valor que se enquadra na faixa temperatura tido como ótima para citros (Reuther, 1977; Rodriguez, 1987).

Para ajuste de  $k_D$ , tomou-se o método proposto pelos autores (equação 3), que resultou num valor médio de  $3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ .

$$k_D = \frac{\sqrt{D}}{E} \quad (3)$$

A Figura 3 mostra a correlação entre  $g_s$  estimado e  $g_s$  observado, quando se utilizou os seguintes parâmetros:  $T_{\text{opt}} = 31,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $k_1 = 84,5 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $k_D = 3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ .

Com esses parâmetros, a subestimativa de  $g_s$  pelo modelo acentuou-se, e isso provavelmente se deva ao elevado valor de  $k_D$  obtido pela equação 3, que além de ser inversamente proporcional a  $g_s$ , tem grande influência na determinação de  $g_s$ , maior que a dos outros dois parâmetros.

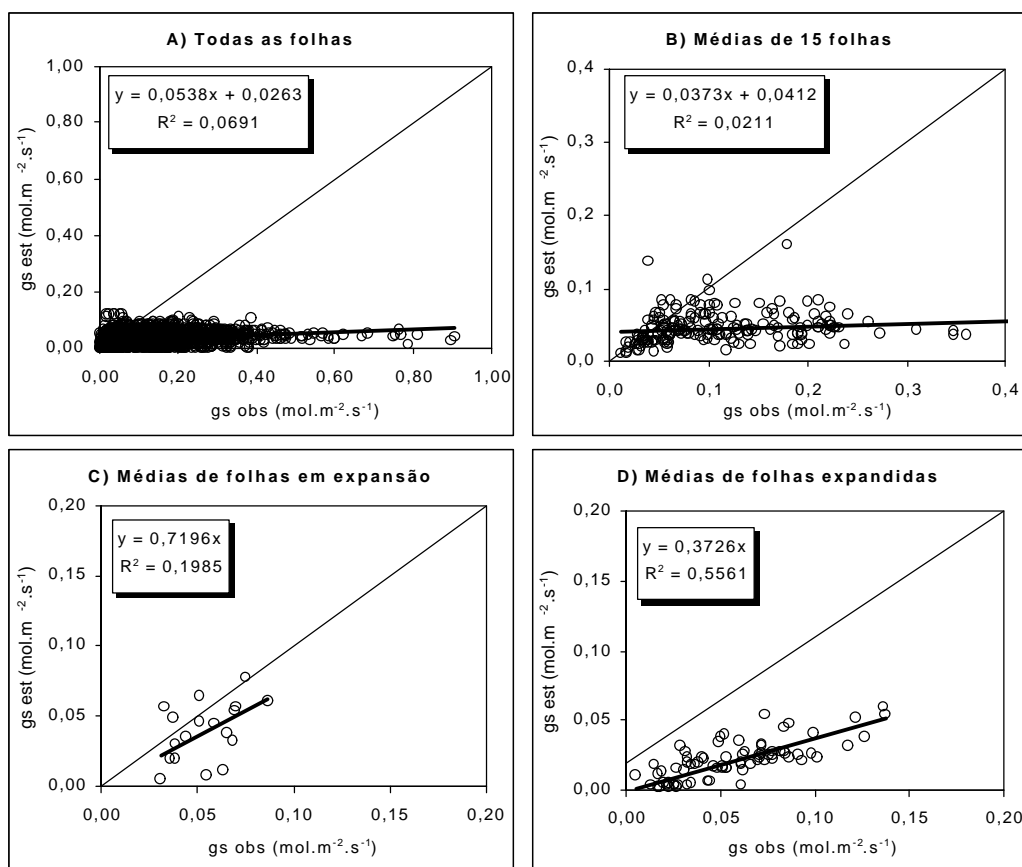


Figura 3. Correlação entre valores estimados e medidos de  $g_s$ , utilizando  $T_{\text{opt}} = 31,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $k_1 = 84,5 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ; e  $k_D = 3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ . A) dados de 3147 folhas porometricamente medidas ao longo do ano; B) dados médios de 15 folhas distribuídas aleatoriamente na planta, medidas de fevereiro a setembro; C) média de seis ou três folhas em expostas as mesmas condições ambientais similares na planta; e D) média de seis ou três folhas totalmente expandidas

Para ajuste de  $k_D$ , tomou-se o método proposto pelos autores (equação 3), que resultou num valor médio de  $3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ .

$$k_D = \frac{\sqrt{D}}{E} \quad (3)$$

A Figura 3 mostra a correlação entre  $g_s$  estimado e  $g_s$  observado, quando se utilizou os seguintes parâmetros:  $T_{opt} = 31,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $k_1 = 84,5 \text{ } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $k_D = 3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ .

Com esses parâmetros, a subestimativa de  $g_s$  pelo modelo acentuou-se, e isso provavelmente se deva ao elevado valor de  $k_D$  obtido pela equação 3, que além de ser inversamente proporcional a  $g_s$ , tem grande influência na determinação de  $g_s$ , maior que a dos outros dois parâmetros.

Em vista dos resultados apresentados, fica evidente a limitação do modelo na estimativa de  $g_s$  a partir dos dados de campo. Isso, por sua vez, indica a conveniência de outros tipos de enfoque para a determinação da  $g_s$  à campo, ou mesmo estudos em condições controladas, para que a parametrização seja precisa e confiável e, para que a variabilidade, tanto espacial como temporal sejam minimizadas.

Importante também são os fatores endógenos que afetam a regulação estomática, como os fitorreguladores e, principalmente a concentração interna de  $\text{CO}_2$ , que não foi considerada no presente trabalho.

## CONCLUSÕES

- A grande variabilidade espacial de  $g_s$  foi a principal dificuldade para o ajuste dos parâmetros do modelo estudado.
- No modelo de Syverstsen & Lloyd (1994), a estimativa de  $k_D$  pela equação proposta para citros resultou em valor bastante elevado ( $k_D = 3,36 \text{ s.m}^2.\text{mol}^{-1}$ ), e conseqüentemente numa subestimativa acentuada de  $g_s$ , em relação aos valores medidos.
- Propõe-se estudos em condições controladas para determinação dos parâmetros dos modelos analisados bem como sobre a morfometria da copa para ponderação de amostragem de  $g_s$ .
- A utilização de outras formas para a determinação de  $g_s$ , envolvendo estudos para quantificação de fluxo de seiva e resistência aerodinâmica à condução de vapor, são recomendadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R.; RIGHI, E.Z. Variação sazonal e ao longo do dia da condutância estomática e da transpiração de lima ácida 'Tahiti' em pomar irrigado em Piracicaba, SP. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, v. 11. **Resumos**. Piracicaba: SBSP/ESALQ, P.110, 1998.
- SMITH, M. **Report on expert consultation on procedures for revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, v.19, p.747-66, 1965.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2ª

- edição. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 428 p.
- 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.
- 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. p.65-101.2v.
- REUTHER, W. Citrus. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. **Ecophysiology of Tropical Crops**. New York: Academic Press. 1977. p.409-438.
- RODRIGUEZ, O. Ecofisiologia dos Citros. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 149-162.