

# MODELO SIMPLIFICADO PARA A ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO DE RENQUES DE CAFEEIROS

FELIPE GUSTAVO PILAU<sup>1</sup>, LUIZ ROBERTO ANGELOCCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Adjunto, Depto. de Agronomia, Centro de Educação Superior Norte – RS, UFSM, Frederico Westphalen - RS, Fone: (0 xx 55) 3744 8900, fgpilau@smail.ufsm.br.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Depto. de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

**RESUMO:** O balanço de radiação de renques é uma importante variável em estudos de trocas de massa e energéticas entre culturas que cobrem parcialmente o solo, com a atmosfera. Esse trabalho descreve um modelo simplificado para estimar o saldo de radiação de renques de cafeeiros, comparando seus valores a dados medidos. O modelo proposto incorpora premissas de Riou et al. (1989), assumindo que o renque tem um formato paralelepípedo, separando a interceptação das frações direta e difusa da radiação solar, contabilizando as orientações do sol e do renque, porosidade do dossel, sua refletância e um coeficiente de extinção da radiação solar. O balanço de radiação de onda longa foi negligenciado. Relação entre valores de saldo de radiação estimados e medidos apresentaram boa correlação, com uma superestimativa de menos de 13% para todos os valores de área foliar testados na escala de medida de 15 minutos. Integrando os valores de saldo de radiação para as diferentes áreas foliares testadas, na escala diurna, o modelo proposto gerou menos de 5% de superestimativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** balanço de radiação, cultivos esparsos, modelagem.

## A SIMPLE MODEL TO ESTIMATE ALL WAVE RADIATION ABSORBED BY COFFEE HEDGEROWS

**ABSTRACT:** The radiation balance of hedgerows is an important variable in studies of mass and energy exchanges between partial ground cover crops and the atmosphere. This paper describes a simple model to estimate all wave radiation absorbed by coffee hedgerows, comparing its values to measures. The proposed model incorporated Riou et al. (1989) premises, assuming the hedgerows format as a parallelepiped, separating direct and diffuse solar radiation interception, accounting solar and hedgerow orientation, canopy porosity, reflectance and a radiation extinction coefficient. Long wave radiation balance was negligence. Relationship between estimated and measured values of net radiation showed a good agreement, with less than 13% of overestimation for all leaf area tested in a 15 minutes scale. Integrating net radiation for all leaf area in a daily scale, the proposed model generated less than 5% of overestimation.

**KEY-WORDS:** radiation balance, sparse canopies, modeling.

**INTRODUÇÃO:** Em estudos envolvendo a perda de água por uma cultura, o saldo de radiação da cobertura vegetal é uma variável fundamental e sua determinação ou estimativa tem sido o objetivo de inúmeros trabalhos encontrados na literatura, com maior frequência em

dosséis vegetativos “contínuos” ou com certa homogeneidade de distribuição dos componentes da cobertura vegetal (Brougham, 1958; Monteith & Szeicz, 1961; Nkemdirim, 1973; Lemeur, 1973; Ridao et al., 1996).

Com o incremento na implantação da irrigação localizada para dosséis esparsos, passa a ser fundamental a determinação do saldo de radiação por planta ou por trecho de renques, utilizado em modelos de estimativa de transpiração ou da evapotranspiração. Dessa forma torna-se possível um manejo racional da irrigação, estimando com precisão a quantidade de água a ser fornecida por irrigação, melhorando a eficiência de uso desse recurso natural.

A determinação do saldo de radiação da copa de plantas arbóreas é complicada, pois é afetado diretamente pela geometria de plantio e da copa, pelo porte da planta e a área foliar, requerendo a utilização de sistemas móveis de integração espaço temporal da energia radiante absorvida pelo dossel (Angelocci et al., 2008) e instrumentação adequada, realizável apenas dentro da investigação científica. As medidas realizadas pelos sistemas móveis de integração do saldo de radiação podem ser utilizadas para a aferição de modelos físico-matemáticos criados para estimar a interceptação da radiação por espécies arbóreas (Palmer, 1977; Jackson e Palmer, 1972; Palmer, 1989; Riou et al., 1989; Melo-Abreu et al., 2002).

O presente trabalho apresenta um modelo físico-matemático simples para a estimativa do saldo de radiação de renques de cafeeiros.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O modelo proposto basicamente incorpora premissas do modelo proposto por Riou et al. (1989). Assumindo-se que a folhagem do renque de cafezal apresenta uma geometria simples (paralelepípedo), têm-se como áreas de interceptação da radiação solar direta a “parede” horizontal ou superior, e as “paredes” verticais ou laterais do renque.

A radiação solar direta ( $R_{g_0}$ ) interceptada pela “parede” horizontal ( $I_h$ ) é diretamente influenciada pelo ângulo de elevação do sol ( $h$ ), pois à medida que  $h$  torna-se maior, essa radiação aprofunda-se no dossel. O mesmo ângulo também influencia a interceptação pelas “paredes” verticais ( $I_v$ ), sendo influenciada ainda pelo azimute do sol ( $a$ ) e do renque ( $a'$ ), ou seja:

$$I_h = A_s \cdot \text{sen}(h) \cdot R_{g_0} \quad (1)$$

$$I_v = A_l \cdot \cos(h) \cdot \text{sen}(a - a') \cdot R_{g_0} \quad (2)$$

em que  $A_s$  é a área da “parede” horizontal e  $A_l$  a área das “paredes” verticais.

Como a “parede” horizontal do renque não tem a interceptação de radiação solar influenciada pela orientação de plantio, ou seja, pelo azimute do renque, e também pelos renques laterais, a interceptação da radiação solar direta e difusa é tratada conjuntamente, determinando-se a interceptação da radiação solar global ( $R_g$ ).

$$I_h = A_s \cdot \text{sen}(h) \cdot R_g \quad (3)$$

No volume do paralelepípedo ou renque, as folhas distribuem-se randomicamente, freqüentemente não o preenchendo totalmente, formando assim espaços vazios, cujo valor integrado representa a porosidade da parede vertical do renque ( $p$ ). Além da perda em radiação solar direta por essa porosidade do renque, outra porcentagem é eliminada através da reflexão ocorrida na folhagem ( $\alpha$ ). Portanto, para proceder-se a estimativa do saldo de radiação de ondas curtas, consideraram-se estas reduções, tanto para as “paredes” verticais como para a horizontal, ou seja:

$$I_v = A_l \cdot \cos(h) \cdot \text{sen}(a - a') \cdot [R_{g_0} \cdot (1 - p) \cdot (1 - \alpha)] \quad (4)$$

$$I_h = A_s \cdot \text{sen}(h) \cdot [R_g \cdot (1 - p) \cdot (1 - \alpha)] \quad (5)$$

Através das equações 4 e 5 é possível determinar-se a interceptação da radiação pelas “paredes” do renque. Para estimar a energia absorvida pelo renque procedeu-se a inclusão de

um coeficiente de extinção da radiação solar global ( $k'$ ), que comparada a porosidade gerou a seguinte equação 6:

$$k' = -0,0094.p + 0,9461 \quad (6)$$

A equação ajustada pela análise de regressão foi incorporada as equações 4 e 5, obtendo-se então:

$$I_v = A_l \cdot \cos(h) \cdot \sin(a - a') \cdot [R_{g_o} \cdot (1 - p) \cdot (1 - \alpha)] \cdot (-0,0094.p + 0,9461) \quad (7)$$

$$I_h = A_s \cdot \sin(h) \cdot [R_{g_o} \cdot (1 - p) \cdot (1 - \alpha)] \cdot (-0,0094.p + 0,9461) \quad (8)$$

A interceptação de radiação difusa pela “parede” horizontal inferior do paralelepípedo não foi considerada na interceptação total de radiação difusa pelo renque, pois é dependente de uma fração de radiação difusa que é limitada pelos renques vizinhos e pelo próprio renque estudado, do albedo do solo e do albedo de sua folhagem, tornando-a desprezível.

A interceptação da radiação difusa pelas “paredes” verticais do renque é dependente da porcentagem de área visada do céu ( $A_{vc}$ ), que por sua vez é dependente do espaçamento entre renques ( $D$ ), e de sua altura ( $H$ ), ou seja:

$$A_{vc} = \frac{180 - \left( 2 \cdot \arctg \frac{H}{D} \right)}{180} \quad (9)$$

Utilizando-se da eq. (9), com  $D$  de 3,5 m e  $H$  de 1,1 m, determinou-se  $A_{vc}$  igual a 0,806.

Independentemente do azimute do renque ( $a'$ ) e do sol ( $a$ ), as componentes verticais estarão interceptando radiação solar difusa ( $R_{g_d}$ ). A totalidade da radiação solar difusa absorvida por essas duas componentes é dependente, então, da porosidade e do albedo do renque, da porcentagem de área visada do céu e do coeficiente de extinção de radiação ( $k'$ ).

$$I_{V_{R_{g_d}}} = 2 \cdot A_l \cdot R_{g_d} \cdot (1 - p) \cdot (1 - \alpha) \cdot A_{vc} \cdot (-0,0094.p + 0,9461) \quad (10)$$

Desta forma, estima-se o saldo de radiação para renques de cafezal, computando-se apenas o balanço de energia radiante de ondas curtas da componente horizontal superior e das componentes verticais do renque, conforme as equações 7, 8, 9 e 10.

Para a utilização do modelo proposto de estimativa do saldo de radiação para renques de cafezal, mediram-se a altura (1,1m) e largura (1,0m) do renque de cafeeiros em formação. Amostrando-se um trecho de renque de 4,7m de comprimento e, assumindo-se a geometria de renque paralelepípeda, tem-se uma “parede” superior de interceptação da radiação ( $A_s$ ), de 1,0m x 4,7m, e “paredes” laterais ( $A_l$ ) de 1,1m x 4,7m. A área de projeção do trecho de renque amostrado ( $AP$ ) foi de 4,7m<sup>2</sup>. Também foram realizadas contagens do número de folhas ( $nf$ ) de cada planta de cafeeiro, e medidos o comprimento ( $C$ ) e a largura ( $L$ ) de algumas folhas de tamanho mediano para o cálculo da área foliar ( $A_f$ ). A área foliar de cada planta foi também determinada pela equação  $A_f = C \cdot L \cdot nf \cdot f$ , sendo  $f$  igual a 0,6862, determinado por Righi, (2004) para um cafezal em formação, o qual é muito próximo do determinado por Marin (2003) para um cafezal adulto, aproximadamente 0,7. Nas desfolhações, a retirada manual das folhas foi aleatória e, além disso, foi determinada a porosidade do dossel em cada situação. Para a determinação da porosidade no plano vertical da folhagem, o renque de cafeeiro foi fotografado em posições diferentes (em relação aos pontos cardeais), utilizando um tecido branco de fundo e as fotografias digitais analisadas por um software de análise de imagem. Os valores estimados pelo modelo foram confrontados com valores medidos com um sistema móvel de integração espaço temporal do saldo de radiação (Angelocci et al., 2008), para os cinco valores de área foliar (4,68m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>, 6,64m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>, 8,64m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>, 10,64m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>, 12,62m<sup>2</sup>.m<sup>-1</sup>). Como o modelo proposto avalia apenas o balanço de energia radiante de ondas curtas, excluindo o de ondas longas, as estimativas foram realizadas apenas para o período diurno, entre 06:00 e 18:00h. Medidas do saldo de radiação foram conduzidas entre os meses de fevereiro e maio de 2005. Todas as medições foram realizadas numa área de aproximadamente 3,2ha constituída de cafeeiros em desenvolvimento,

variedade Obatã IAC 1669-20, espaçados de 3,5m x 0,9m, em área experimental do Campus “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba/SP (22°42’S, 47°30’O e 546m).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 1 apresenta as correlações entre os valores do saldo de radiação medidos ( $R_{nc\_med}$ ) e estimados pelo modelo ( $R_{nc\_est}$ ) do renque de cafeeiros, para as cinco AF, com bons níveis de ajuste das análises de regressão. Forçando-se a passagem da reta da equação pela origem dos eixos, verifica-se superestimativa média inferiores a 12,5% (Figura 1A), e coeficientes angulares mais próximos de 1 para as demais AF, para períodos de 15 minutos.

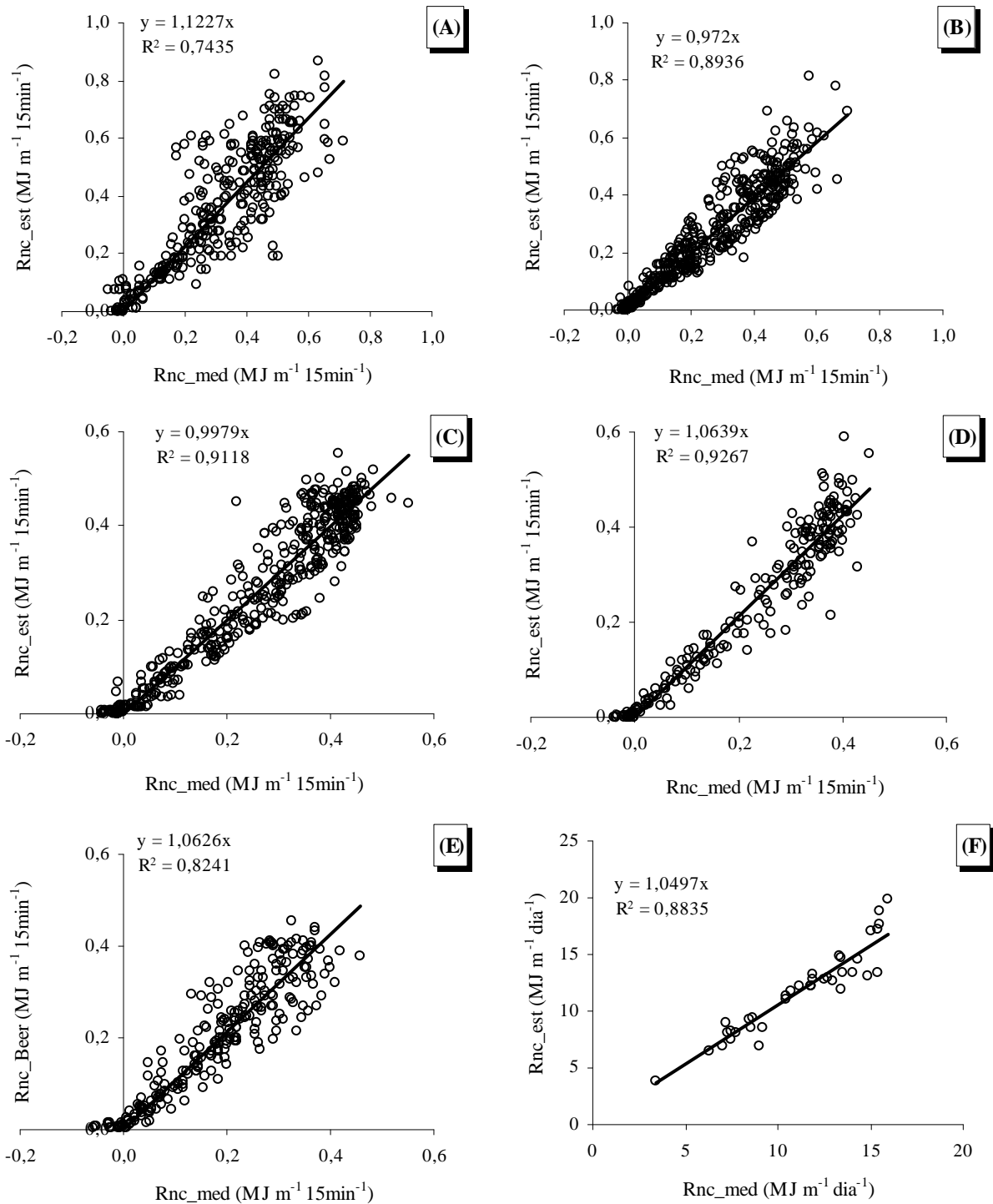


Figura 1 - Correlações entre o saldo de radiação medidos ( $R_{nc\_med}$ ) e o estimado pelo modelo proposto ( $R_{nc\_est}$ ) do renque de cafeeiros, para as áreas foliares de  $12,61\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  (A),  $10,63\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  (B),  $8,72\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  (C),  $6,63\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  (D) e  $4,68\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  (E), na escala de 15 minutos, e entre  $R_{nc\_med}$  e  $R_{nc\_est}$ , para as cinco áreas foliares, na escala diurna (F).

Ao excluir-se o balanço de energia de ondas longas o modelo gera erros de estimativa do saldo de radiação para os renques de cafeeiros nos momentos de nascer e pôr-do-sol. Nesses horários, mesmo sob valores de  $R_g$  positivos, o balanço de radiação de onda longa foi superior ao de onda curta, registrando-se  $R_{nc}$  negativo.

Correlacionando-se  $R_{nc\_med}$  e  $R_{nc\_est}$ , para todas AF, integrados para o período diurno, com radiação solar, situação em que o modelo proposto torna-se funcional, obteve-se novamente elevado nível de ajuste mostrado pela análise de regressão, com uma superestimativa de cerca de 5% (Figura 1F).

Mesmo sendo mais simplificado perante alguns modelos de interceptação de radiação pela folhagem de renques de espécies arbóreas (Charles-Edwards & Thorpe, 1976; Palmer, 1977; Melo-Abreu et al., 2002), e Riou et al., 1989, do qual foram utilizadas algumas premissas para o desenvolvimento do modelo aqui proposto, este apresentou níveis similares de funcionalidade e precisão nas estimativas, inclusive sendo testado numa maior variação de densidade de folhagem e com suas estimativas comparadas ao saldo de radiação integrado espaço-temporalmente, o que não é verificado nos trabalhos citados.

Os elevados níveis de ajustes demonstram que o modelo proposto foi preciso na estimativa do saldo de radiação dos renques desse cafezal, cabendo testá-lo em outras situações, principalmente em orientação de linhas de plantio diferentes, espaçamento entre renque, e dimensões de renque.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROUGHAM, R.W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, Coolingwood, v. 9, p. 39-52, 1958.
- MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berkshire, v. 87, p. 159-170, 1961.
- NKEMDIRIM, L.C. Radiative flux relations over crops. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 11, p. 229-242, 1973.
- LEMEUR, R. A method for simulating the direct solar radiation regime in sunflower, Jerusalem artichoke, corn and soybean canopies using actual stand structure data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 12, p. 229-247, 1973.
- RIDAO, E.; OLIVEIRA, C.F.; CONDE, J.R.; MINGUEZ, M.I. Radiation interception and use, and spectral reflectance of contrasting canopies of autumn sown faba beans and semi-leafless peas. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 79, p. 183-203, 1996.
- ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; RIGHI, E. Z.; FAVARIN, J. L. Radiation balance of coffee hedgerows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.274-281, 2008.
- JACKSON, J.E.; PALMER, J.W. Interception of light by model hedgerow orchards in relation to latitude, time of year and hedgerow configuration and orientation. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 9, p. 341-358, 1972.
- PALMER, J.W. The effect of row orientation, tree height, time of year and latitude on light interception and distribution in model apple hedgerow canopies. **Journal of Horticultural Science**, Coventry, v. 64, n. 2, p. 137-145, 1989.
- RIOU, C.; VALANCOGNE, C.; PIERI, P. Um modèle simple d'interception du rayonnement solaire par la vigne – vérification expérimentale. **Agronomie**, Paris, v. 9, p. 441-450, 1989.
- CHARLES-EDWARDS, D.A.; THORPE, M.R. Interception of diffuse and direct-beam radiation by a hedgerow apple orchard. **Annals of Botany**, London, v. 40, p. 603-613, 1976.

PALMER, J.W. Diurnal light interception and a computer model of light interception by hedgerow apple orchards. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 14, p. 601-614, 1977.