

## ASSOCIAÇÃO ENTRE A RADIAÇÃO SOLAR MEDIDA EM ESTAÇÃO DE SUPERFÍCIE E ESTIMADA COM MODELOS

ROSA, S. L. K.<sup>1</sup>; SOUZA, J. L. M.<sup>1</sup>; SANTOS, A. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Rua dos Funcionários, 1540, Curitiba, Paraná, Brasil.

### RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a grandeza e proporção dos valores de radiação observados em radiômetro ( $Rns$ ,  $Rnl$ ,  $Rn$  e  $Rs$ ), bem como associar e analisar o desempenho dos modelos Allen ( $Rns_A$ ,  $Rnl_A$  e  $Rn_A$ ), Allen / ASCE-EWRI ( $Rns_{AAE}$ ,  $Rnl_{AAE}$  e  $Rn_{AAE}$ ) e Hargreaves e Samani ( $Rs_{HS}$ ) de estimativa da radiação em comparação aos valores observados ( $Rns$ ,  $Rnl$ ,  $Rn$  e  $Rs$ ), para o município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. Dados climáticos medidos foram coletados no Posto meteorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, compreendendo o período entre 01 de Janeiro de 2001 e 31 de Dezembro de 2021. Os valores estimados de  $Rns$ ,  $Rnl$  e  $Rn$  seguiram os procedimentos metodológicos de cada modelo analisado, e a  $Rs$  foi calculada com a equação de Hargreaves e Samani ( $Rs_{HS}$ ). A proporção entre os valores medidos de  $Rn$  e  $Rs$  foi de 48% na primavera, 50% no verão, 41% no outono e 39% no inverno. As  $Rs_{HS}$ ,  $Rns_A$  e  $Rns_{AAE}$  estimadas apresentaram a mesma variação dos valores observados na estação meteorológica. A  $Rs_{HS}$ , e consequentemente a  $Rns_A$  e  $Rns_{AAE}$  estimadas apresentaram variação muito semelhante à medida na estação meteorológica de superfície. O  $Rn$  apresentou maior variação entre os modelos analisados, indicando 29,8% ( $Rn_A$ ) e 25,5% ( $Rn_{AAE}$ ) de superestimativa com os dois modelos.

**Palavras-chave:** Balanço de radiação; Onda curta e longa; Estação de superfície; Modelos de estimativa.

### INTRODUÇÃO

O balanço energético consiste na contabilização das trocas de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera. A radiação solar é a maior fonte de energia, capaz de transformar grandes quantidades de água líquida em vapor d'água (Allen et al., 1998). Todas as superfícies recebem radiação de onda curta ( $Rns$ ) durante o dia e trocam radiação de onda longa ( $Rnl$ ) continuamente com a atmosfera. Dentre os componentes do balanço energético, o saldo de radiação ( $Rn$ ) ou radiação líquida ( $R_L$ ), é o resultado das entradas e saídas de radiação no sistema e consiste na contabilização entre os valores de  $Rns$  e  $Rnl$ . O saldo pode ser positivo, negativo ou nulo, dependendo do resultado de ganhos e perdas de radiação (Monteith e Unsworth, 1990).

Como faz parte dos processos químicos, biológicos e principalmente físicos do sistema solo-planta-atmosfera, o  $Rn$  é uma variável importante em diversos processos relacionados à agricultura. É a força motriz de energia para o processo da evapotranspiração ( $ET$ ), fotossíntese e aquecimento do solo e do ar (Jia et al., 2018).

A maior parte das estações meteorológicas brasileiras não dispõe de equipamentos para medição direta do  $Rn$  (Fietz e Fisch, 2009), e apenas a  $Rs$  frequentemente é monitorada.

Apesar da importância do  $Rn$ , a medição direta com radiômetros é escassa, devido ao alto custo de aquisição e manutenção do equipamento (Jiang e Liang, 2018). Na indisponibilidade de dados medidos do  $Rn$ , a alternativa consiste em realizar sua estimativa com modelos matemáticos empíricos (Agada et al., 2019).

Dentre os componentes do  $Rn$ , a  $Rns$  é facilmente obtida com uma expressão que considera o albedo ( $\alpha$ ) e a  $Rs$ , e a  $Rnl$  é mais difícil de ser monitorada em estudos micrometeorológicos (Teodoro et al., 2018). Devido à escassez de dados medidos do  $Rn$ , na literatura são encontrados diversos modelos alternativos para realizar a sua estimativa. As principais metodologias utilizadas foram propostas por Linacre (1968), Allen et al. (1994) e Ortega-Farias et al. (2000). No entanto, as análises foram baseadas em valores médios mensais e horários considerando séries curtas, indicando a necessidade de maiores estudos para verificar a tendência do  $Rn$  estimado ao longo dos meses e estações do ano. O modelo e roteiro mais comumente utilizado na literatura para estimativa do  $Rn$  é o proposto por Allen et al. (1998), e revisado por ASCE-EWRI (2005). Estudos associando e analisando o desempenho de modelos de estimativa da  $Rs$  também são facilmente encontrados na literatura. No entanto, pesquisas realizadas com dados medidos do  $Rn$  são escassas, principalmente no cenário brasileiro.

Neste contexto, teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a grandeza e propoção dos valores de radiação observados em radiômetro ( $Rns$ ,  $Rnl$ ,  $Rn$  e  $Rs$ ), bem como associar e analisar o desempenho dos modelos Allen ( $Rns_A$ ,  $Rnl_A$  e  $Rn_A$ ), Allen / ASCE-EWRI ( $Rns_{AAE}$ ,  $Rnl_{AAE}$  e  $Rn_{AAE}$ ) e Hargreaves e Samani ( $Rs_{HS}$ ) de estimativa da radiação em comparação aos valores observados ( $Rns$ ,  $Rnl$ ,  $Rn$  e  $Rs$ ), para o município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dados medidos do saldo de radiação ( $Rn$ ) e radiação solar incidente ( $Rs$ ) foram coletados no Posto meteorológico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/postoaut.html>), situado no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Região Sudeste do Brasil. As coordenadas geográficas são 22°42'30" S, 47°38'00" W e 546 metros de altitude. O clima da região é *Cwa* (Alvares et al., 2013). Os dados compreendem o período entre 01 de Janeiro de 2001 e 31 de Dezembro de 2021.

Fisicamente, o saldo de radiação é determinado com as equações:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (1)$$

$$Rns = (1 - \alpha) \cdot Rs \quad (2)$$

Sendo:  $Rn$  – saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $Rns$  – radiação solar de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $Rnl$  – radiação solar de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $\alpha$  – albedo (adimensional);  $Rs$  – radiação solar incidente ou global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

A radiação de onda longa ( $Rnl$ ) observada foi determinada fazendo-se a diferença entre os valores medidos do  $Rn$  e a  $Rs$ , considerando a superfície gramada ( $\alpha = 0,23$ ), com a expressão:

$$Rnl = (1 - \alpha) \cdot Rs - Rn \quad (3)$$

Dois modelos da FAO de estimativa do  $Rn$  foram analisados: Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005). Os modelos requerem a  $Rs$  como variável de

entrada para a determinação do  $Rn$ , e possuem metodologias distintas para o cálculo da  $Rnl$ . Como a  $Rs$  é uma variável que frequentemente apresenta falhas e erros de leitura em medições direta nas estações meteorológicas de superfície, optou-se no presente estudo por realizar sua estimativa, para posteriormente servir de entrada nos modelos. Por ser simples e muito utilizado na literatura, o modelo de Hargreaves e Samani (1982) foi escolhido para estimar radiação solar incidente ( $RS_{HS}$ ; Equação 4). Os valores da radiação solar no topo da atmosfera ( $Ra$ ) foram calculados com as equações recomendadas por Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005).

$$RS_{HS} = k_{RS} \cdot Ra \cdot (T_{K_{m\acute{a}x}} - T_{K_{m\acute{i}n}})^{0,5} \quad (4)$$

Sendo:  $RS_{HS}$  – radiação solar incidente ou global, estimada com a equação de Hargreaves e Samani (1982) ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $k_{RS}$  – coeficiente de proporcionalidade ( $\text{K}^{-0,5}$ ), considerado  $0,1578 \text{ K}^{-0,5}$  para o tipo climático  $Cwa$  (Baratto et al., 2017);  $Ra$  – radiação solar no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $T_{K_{m\acute{i}n}}$  e  $T_{K_{m\acute{a}x}}$  – temperaturas mínima e máxima diária do ar (K).

Desta forma, o  $Rn$  foi calculado com as expressões:

– Modelo de Allen et al. (1994):

$Rn_A$ : Calculado com a Equação 1;

$Rns_A$ : Calculada com a Equação 2, considerando o albedo da grama ( $\alpha = 0,23$ ) e radiação solar incidente ( $RS_{HS}$ ) estimada com a Equação 4;

$$Rnl_A = \left[ a_c \cdot \left( \frac{RS_{HS}}{RS_0} \right) + b_c \right] \cdot (a_1 + b_1 \cdot es^{0,5}) \cdot \sigma \cdot \left( \frac{T_{K_{m\acute{a}x}}^4 + T_{K_{m\acute{i}n}}^4}{2} \right) \quad (5)$$

– Modelo de Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005):

$Rn_{AAE}$ : Calculado com a Equação 1;

$Rns_{AAE}$ : Calculada com a Equação 2, considerando o albedo da grama ( $\alpha = 0,23$ ) e radiação solar incidente ( $RS_{HS}$ ) estimada com a Equação 4;

$$Rnl_{AAE} = \sigma \cdot f_{cd} \cdot (0,34 - 0,14 \cdot ea^{0,5}) \cdot \left( \frac{T_{K_{m\acute{a}x}}^4 + T_{K_{m\acute{i}n}}^4}{2} \right) \quad (6)$$

Sendo:  $Rn_A$  e  $Rn_{AAE}$  – saldo de radiação calculado com os modelos de Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005), respectivamente;  $Rns_A$  e  $Rns_{AAE}$  – radiação de onda curta calculada com os modelos de Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005), respectivamente;  $Rnl_A$  e  $Rnl_{AAE}$  – radiação de onda longa calculada com os modelos de Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005), respectivamente;  $\frac{RS_{HS}}{RS_0}$  – radiação de onda curta relativa (limitada a  $0,3 \leq \frac{RS}{RS_0} \leq 1,0$ ; adimensional);  $a_c$  e  $b_c$  – fatores de nuvem (adimensional), sendo  $a_c = 1,35$  e  $b_c = -0,35$  (adimensional; Doorenbos e Pruitt, 1977);  $a_1$  a  $b_1$  – Fatores de emissividade (adimensional), sendo  $a_1 = 0,34$  e  $b_1 = -0,14$  (Doorenbos e Pruitt, 1977);  $\sigma$  – constante de Stefan-Boltzmann ( $4,90 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $T_{K_{m\acute{i}n}}$  e  $T_{K_{m\acute{a}x}}$  – temperaturas mínima e máxima diária do ar (K);  $f_{cd}$  – função de nebulosidade (limitada a  $0,05 \leq f_{cd} \leq 1,0$ ; adimensional);  $ea$  – pressão atual de vapor a dois metros de altura (kPa).

A série diária de  $R_s$ ,  $R_{ns}$ ,  $R_{nl}$  e  $R_n$  estimada com os métodos de Hargreaves e Samani (1982), Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005) foram associados com os valores observados, medidos na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. O comparativo foi realizado em análises de regressão linear simples no *software* R Studio, pacote “ggplot2” (Wickham, 2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Radiação solar observada na estação meteorológica de superfície

As  $R_s$ ,  $R_{ns}$  e  $R_n$  apresentaram a mesma variação temporal (Figura 1). Como a  $R_{ns}$  representou em torno de 77% da  $R_s$  (Equação 2;  $\alpha = 0,23$ ), naturalmente era esperado que a variação fosse semelhante. Como a  $R_s$  é influenciada pela presença de nuvens, verifica-se muita oscilação em seu valor, principalmente em clima tropical. Desta forma, pequenas alterações nas condições meteorológicas locais podem provocar grande variação da radiação solar (Soubdhan et al., 2009).

As variações sazonais nos fluxos de radiação (Figura 2) foram maiores na primavera (setembro a dezembro) e no verão (dezembro a março). As  $R_s$ ,  $R_{ns}$  e  $R_n$  observadas apresentaram redução no período outono-inverno (Figuras 1 e 2). Conforme EMBRAPA (2022), durante o inverno ocorre menor incidência de raios solares no Brasil. Além disso, no inverno a atividade convectiva é mais fraca, devido ao nascer tardio do sol. Desta forma, a energia solar disponível é menor e a perda de calor da Terra por emissão de radiação infravermelha, ocasionado pela  $R_{nl}$ , aumenta a presença de nuvens estratiformes, principalmente pela manhã (Rosas et al., 2019), justificando as oscilações observadas.

Em relação à magnitude dos valores das radiações analisadas, com exceção do  $R_n$  que foi levemente superior no verão, as  $R_s$ ,  $R_{ns}$  e  $R_{nl}$  apresentaram maiores valores na primavera (Figura 2). Por apresentar tendência similar (Figura 1), verificou-se que o  $R_n$  pode ser estimado com os valores de  $R_s$ , que são comumente medidos nas estações meteorológicas. Em média, a proporção do  $R_n$  em relação à  $R_s$  foi de 48% na primavera, 50% no verão, 41% no outono e 39% no inverno. As medidas de tendência e dispersão das variáveis observadas estão dispostas na Tabela 1.

As associações entre  $R_s$ ,  $R_{ns}$ ,  $R_{nl}$  e  $R_n$  observadas apresentaram correlação ( $r$ ) lineares e positivas (Tabela 2). A associação foi perfeita para a  $R_s$  e  $R_{ns}$  (Figura 3a) devido a Equação 2, em que a diferença entre as variáveis é explicada somente pelo albedo ( $\alpha$ ). A associação entre “ $R_s$  vs  $R_n$ ” também indicou bom coeficiente de correlação ( $r = 0,93$ ; Figura 3c), enquanto a “ $R_s$  vs  $R_{nl}$ ” apresentou resultados inferiores ( $r = 0,66$ ; Figura 3b). Bosco et al. (2017) também correlacionaram a “ $R_s$  vs  $R_n$ ” medidas em estação meteorológica para duas condições de cultivo de macieira (“sob rede de proteção” e a “céu aberto”), no Rio Grande do Sul. Os autores observaram  $r = 0,98$  e  $r = 0,97$  para as duas condições de cultivo, respectivamente. As maiores correlações obtidas pelos autores podem estar associadas ao menor período de tempo avaliado (dezembro de 2009 a março de 2010).

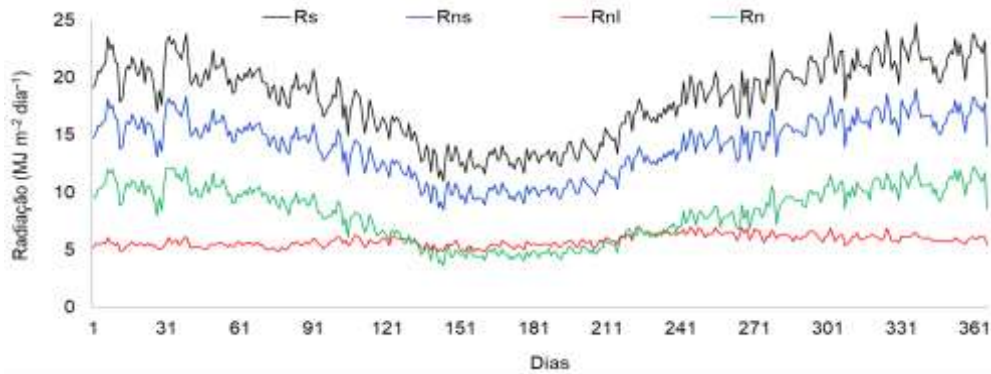
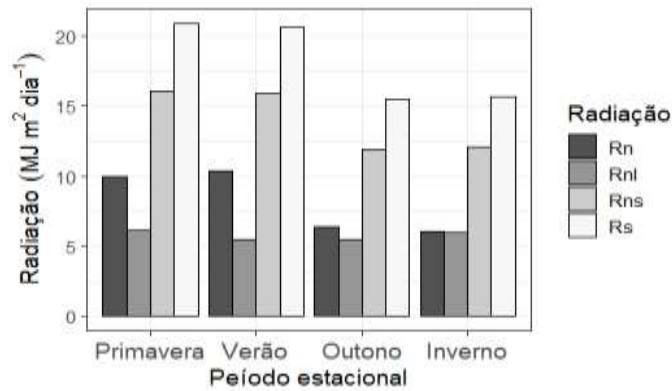


FIGURA 1. Variação temporal da média diária da radiação solar incidente ( $R_s$ ), onda curta ( $R_{ns}$ ), onda longa ( $R_{nl}$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ), observadas na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021.



Nota: Considerou-se que as estações do ano ocorrem nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro a 20 de março; Outono entre 21 de março a 20 de junho; Inverno entre 21 de junho a 22 de setembro; e Primavera entre 23 de setembro a 20 de dezembro.

FIGURA 2. Distribuição sazonal média da radiação solar incidente ( $R_s$ ), onda curta ( $R_{ns}$ ), onda longa ( $R_{nl}$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ), observadas na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021.

Tabela 1. Medidas de tendência e dispersão da radiação solar incidente ( $R_s$ ), onda curta ( $R_{ns}$ ), onda longa ( $R_{nl}$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ), observadas na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período diário entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021.

Tendência e dispersão	$R_s$	$R_{ns}$	$R_{nl}$	$R_n$
	(MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )			
Média	18,17	13,99	5,79	8,20
Desvio Padrão	6,26	4,82	1,84	3,86
CV	34%	34%	32%	47%
Menor valor	0,16	0,12	0,01	-2,04
Maior valor	35,01	26,95	13,71	18,87

Fonte: Os autores (2023).



Tabela 2. Matriz de correlação entre a radiação solar incidente ( $R_s$ ), onda curta ( $R_{ns}$ ), onda longa ( $R_{nl}$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ ), observadas na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período diário entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021.

Radiação (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	$R_s$	$R_{ns}$	$R_{nl}$	$R_n$
$R_s$	1,000	1,000	0,661	0,933
$R_{ns}$	-----	1,000	0,661	0,933
$R_{nl}$	-----	-----	1,000	0,347
$R_n$	-----	-----	-----	1,000

Fonte: Os autores (2023).

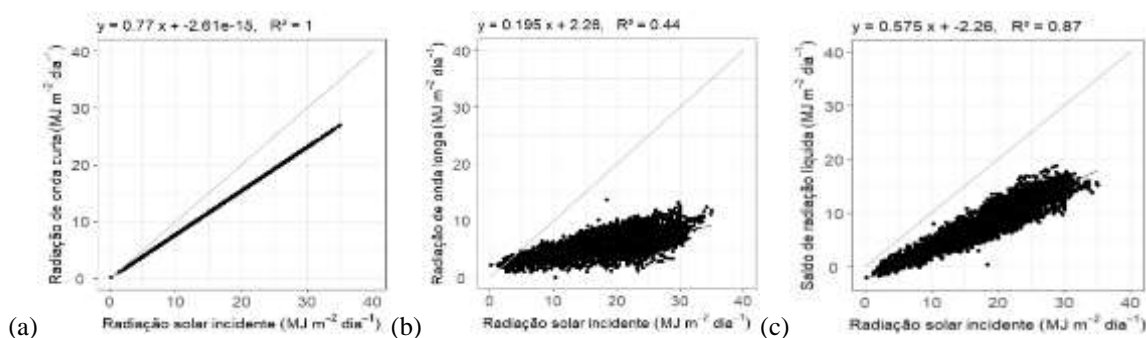


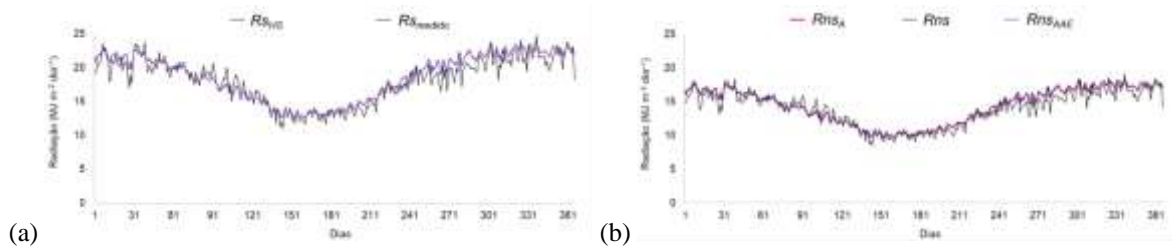
FIGURA 3. Análise de regressão linear entre radiações, observadas na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período diário entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021: a) “ $R_s$  vs  $R_{ns}$ ” (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), b) “ $R_s$  vs  $R_{nl}$ ” (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); c) “ $R_s$  vs  $R_n$ ” (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

### Radiação solar estimada com modelos

A  $R_{sHS}$  estimada apresentou variação muito semelhante a  $R_s$  medida na estação meteorológica de superfície (Figura 4a). Consequentemente, a  $R_{nsA}$  e  $R_{nsAAE}$  também apresentaram variação semelhante. Como os modelos Allen et al. (1994) e Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005) utilizam a Equação 2 para obtenção da  $R_{ns}$ , os valores de  $R_{nsA}$  e  $R_{nsAAE}$  também foram iguais (Figura 4b).

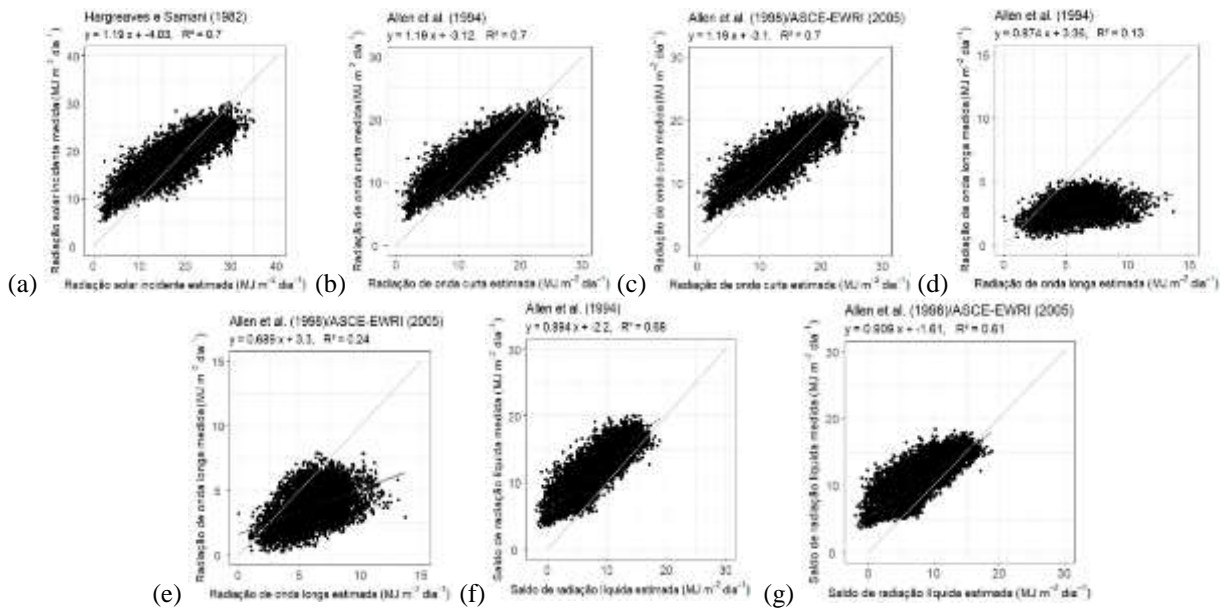
A  $R_{sHS}$  estimada com a equação de Hargreaves e Samani (1982) apresentou  $r = 0,83$  (Figura 5a). O valor obtido foi semelhante ao observado por Irmak et al. (2010), estudando a mesma metodologia em Clay Center, Nebraska (clima subúmido;  $r = 0,81$ ), e inferior em Davis, California (clima semi-árido;  $r = 0,95$ ). As  $R_{nsA}$  e  $R_{nsAAE}$ , por serem obtidas com a mesma equação (Equação 2), apresentaram os mesmos índices estatísticos.

Apesar de pequena, o  $R_n$  também apresentou variação entre os modelos analisados (Figura 5 “f” e “g”), indicando 29,8% e 25,5% de superestimativa com os dois modelos, respectivamente. Essa variação pode estar associada às condições climáticas de Piracicaba, pois, de acordo com Samani et al. (2007), a metodologia padronizada ASCE-EWRI (2005) deveria ser utilizada para estimar o  $R_n$  somente em condições para as quais foi desenvolvida, ou seja, dossel de grama bem irrigada.



Fonte: Os autores (2023).

FIGURA 4. Média diária dos valores observados na estação meteorológica de superfície da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, no período diário entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021: a)  $R_s$ ; e, b)  $R_{ns}$ .



Nota:  $R_s$ ,  $R_{ns}$ ,  $R_{nl}$  e  $R_n$  foram observados/medidos;  $R_{S_{HS}}$  estimada com a equação de Hargreaves e Samani (1982) (Equação 4);  $R_{ns_A}$ ,  $R_{nl_A}$  e  $R_{n_A}$  estimadas conforme Allen et al. (1994) (Equações 2, 5 e 1, respectivamente);  $R_{ns_{AAE}}$ ,  $R_{nl_{AAE}}$  e  $R_{n_{AAE}}$  estimadas conforme Allen et al. (1998) / ASCE-EWRI (2005) (Equações 2, 6 e 1, respectivamente).

FIGURA 5 – Regressão linear entre os respectivos valores de radiação solar medida/observada e estimada, no período diário entre 01 de Janeiro de 2001 a 31 de Dezembro de 2021: a) “ $R_s$  vs  $R_{S_{HS}}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); b) “ $R_{ns}$  vs  $R_{ns_A}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); c) “ $R_{ns}$  vs  $R_{ns_{AAE}}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); d) “ $R_{nl}$  vs  $R_{nl_A}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); e) “ $R_{nl}$  vs  $R_{nl_{AAE}}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); f) “ $R_n$  vs  $R_{n_A}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); g) “ $R_n$  vs  $R_{n_{AAE}}$ ” ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

## CONCLUSÕES

As radiações estimadas e medias ( $R_{ns}$ ,  $R_{nl}$ ,  $R_n$  e  $R_s$ ) apresentaram a mesma variação temporal na estação meteorológica analisada.

As diferenças sazonais nos fluxos de radiação são maiores na primavera (setembro a dezembro) e no verão (dezembro a março). Os valores observados de  $R_n$  em relação à  $R_s$  apresentam proporção de 48% na primavera, 50% no verão, 41% no outono e 39% no inverno.

A  $R_{S_{HS}}$  estimada apresentou variação muito semelhante a  $R_s$  medida na estação meteorológica de superfície. O  $R_n$  apresentou maior variação entre os modelos analisados, indicando 29,8% ( $R_{n_A}$ ) e 25,5% ( $R_{n_{AAE}}$ ) de superestimativa com os dois modelos.

## REFERÊNCIAS

- AGADA, I. O.; UDOCHUKWU, B. C.; SOMBO, T. Predicting the occurrence of surplus and deficit net radiation in Ibadan, Nigeria. **Science World Journal**, v. 14, n. 2, p.1-11, 2019.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. FAO, Rome, 300 p. 1998.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PERRIER, A. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v. 43, n. 2, p. 35-92, 1994.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppens's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ASCE-EWRI. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation**. In: ALLEN, R. G.; WALTER, I. A.; ELLIOTT, R. L.; HOWELL, T. A.; ITENFISU, D.; JENSEN, M. E.; SNYDER, R. L. (Editors). Report 0-7844-0805-X. American Society of Civil Engineers, Environmental Water Resources Institute, 2005. 69p. DOI: 10.1061/9780784408056
- BARATTO, R. L.; SOUZA, J. L. M.; XAVIER, A. C.; JERSZURKI, D. **Coefficiente de proporcionalidade Krs da equação de Hargreaves e Samani para o Brasil**. Convibra Congress conference, 2017. Disponível em: [http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re.i\\_2017\\_convibra\\_6.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/re.i_2017_convibra_6.pdf). Acesso em: 27 de Jun 2022.
- BOSCO, L. C.; BERGAMASCHI, H.; CARDOSO, L. S.; de PAULA, V. A.; MARODIN, G. A. B.; BRAUNER, P. C. Microclimate alterations caused by agricultural hail net coverage and effects on apple tree yield in subtropical climate of Southern Brazil. **Bragantia**, 77(AHEAD), p. 1-12, 2017. DOI: 10.1590/1678-4499.2016459
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper N° 24, (rev.) FAO: Rome, Italy. 1977. 145 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Artigo: A chegada do inverno**. Disponível em: [https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/71594296/artigo-a-chegada-do-inverno?p\\_auth=eMkopBa1](https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/71594296/artigo-a-chegada-do-inverno?p_auth=eMkopBa1). Acesso em: 19 de Jul. 2022
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Avaliação de modelos de estimativa do saldo de radiação e do método de Priestley-Taylor para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 449-453, 2009. DOI: 10.1590/S1415-43662009000400012
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982. DOI: 10.1061/JRCEA4.0001390
- IRMAK, S.; MUTIIBWA, D.; PAYERO, J. O. Net radiation dynamics: performance of 20 daily net radiation models as related to model structure and intricacy in two climates. **Biological Systems Engineering**, v. 53, n. 4, p. 1059-1076, 2010. DOI: 10.13031/2013.32596
- JIA, L.; ZHENG, C. G.; HU, G. C.; MENENTI, M. 4.03 – Evapotranspiration. In: **Comprehensive Remote Sensing**, v. 4, p. 25-50, 2018. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10353-7
- JIANG, B.; LIANG, S. **Land Surface Net Radiation**. In: **Comprehensive Remote Sensing**, v. 5, p. 304-331, 2018. Oxford, UK. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10376-8
- LINACRE, E. T. Estimating the net radiation flux. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 5, p. 49-63, 1968. DOI: 10.1016/0002-1571(68)90022-8
- MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Chapter 5 – Radiation Environment**. In: **Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere**. New York: Edward Arnold, Fourth Edition. 1990. 401p. Disponível em: <https://denning.atmos.colostate.edu/readings/Monteith.and.Unsworth.4thEd.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- ORTEGA-FARIAS, S.; ANTONIOLETTI, R.; OLIOSO, A. Net radiation model evaluation at an hourly time step for mediterranean conditions. **Agronomie, EDP Sciences**, v. 20, n. 2, 2000. p.157-164. DOI: 10.1051/agro:2000116
- ROSAS, J.; YAMASOE, M. A.; SENA, E. T.; ROSÁRIO, N. E. Cloud climatology from visual observations at São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 207-219, 2019. DOI: 10.1002/joc.6203
- SAMANI, Z.; BAWAZIR, A. S.; BLEIWEISS, M.; SKAGGS, R.; TRAN, V. T. Estimating daily net radiation over vegetation canopy through remote sensing and climatic data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 291-297, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(291)
- SOUBDHAN, T.; EMILION, R.; CALIF. R. Classification of daily solar radiation distributions using a mixture of Dirichlet distributions. **Solar Energy**, v. 83, n. 7, p. 1056-1063, 2009. DOI: 10.1016/j.solener.2009.01.010
- TEODORO, P. E.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; SOHN, F. T. Incoming Longwave Radiation Evaluation for the Legal Amazon Using HadRM3 and Geostatistic Theoretical Models. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 2, e20160094, 2018. DOI: 10.1590/2179-8087.009416
- WICKHAM, H. **Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 12 mar. 2022.