

Modelo matemático na estimativa da radiação solar fotossinteticamente ativa

Reinaldo Prandini Ricieri¹, Samuel Nelson Melegari de Souza², Reinaldo Prandini Ricieri Filho³

¹Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Cascavel/PR. ²Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR.

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre/RS.

E-mail autor correspondente: reinaldo_prandini_ricieri@hotmail.com.

Artigo enviado em 10/09/2018, aceito em 08/05/2019.

Resumo: O artigo descreve modelos matemáticos para estimar a irradiância PAR em função da irradiância Global na região de Santa Helena/PR (latitude 24°51'S, longitude 54°19'W-GR e altitude 258m), onde foram encontrados quatro modelos matemáticos, um para cada período sazonal do ano. Os dados foram coletados no município de Santa Helena/PR no período de setembro de 2003 a abril de 2005. As medidas de irradiância solar global foram obtidas por um piranômetro da Kipp & Zonen - modelo CM3 e da irradiância solar fotossinteticamente ativa (PAR) por um sensor quântico da marca LI-COR. No período do verão o erro médio de -8,51%, no outono -3,88%, no inverno 0,87% e na primavera 2,07%.

Palavras-chave: irradiância solar, irradiância fotossinteticamente ativa, modelo de estimativa da radiação PAR.

Mathematical model in the estimation of photosynthetically active solar radiation

Abstract: The article describes mathematical models for estimating PAR irradiance as a function of global irradiance in Santa Helena / PR region (latitude 24°51'S, longitude 54°19'W-GR and 258m altitude), where four mathematical models were found, one for each seasonal period of the year. The data were collected in the municipality of Santa Helena / PR from September 2003 to April 2005. The measurements of global solar irradiance were obtained by a pyramid of Kipp & Zonen - model CM3 and the photosynthetically active solar irradiance (PAR) by a LI-COR quantum sensor. In the summer period the average error of -8.51%, fall -3.87%, winter 0.87% and spring 2.07%.

Key Words: solar irradiance, photosynthetically active irradiance, PAR radiation estimation model.

Introdução

A constante solar (1367 W/m^2) está relacionada à energia solar que incide no topo da atmosfera. Antes da radiação solar incidir na superfície da Terra, ao se propagar na atmosfera, ela é atenuada por processos de

espalhamento e absorção causados pelas partículas (denominadas aerossóis) e moléculas de gases atmosféricos. Os coeficientes de absorção e de espalhamento dependem do comprimento de onda da radiação e das espécies de gases e aerossóis presentes na atmosfera. Do total de

radiação solar incidente: 16% é absorvida pelo O₃, vapor d'água e aerossóis, 3% é absorvida pelas nuvens, 51% absorvida pela superfície terrestre, 6% espalhada pelo ar, 20% refletida pelas nuvens e 4% refletida pela superfície (MARTINS et al., 2004).

A radiação solar sofre efeitos complexos das nuvens, as quais podem ser caracterizadas, conforme o processo de espalhamento e absorção, sendo um fator de maior importância no aspecto quantitativo da energia, variando de acordo com o tipo de nuvem. No verão, nuvens cumulus através de fenômeno de múltiplas reflexões podem aumentar o valor da radiação solar que atinge o solo, chegando muitas vezes a ser maior que a incidente no topo da atmosfera.

Ricieri (1998) determinou uma metodologia para obtenção do tipo de cobertura do céu em função do índice de claridade (Kt), para cidade de Botucatu, por meio de comparação gráfica das irradiações global, direta e difusa na incidência horizontal. Neste estudo o autor encontrou o intervalo de $0,3 \leq Kt \leq 0,80$, mostrando que a radiação global incidente na superfície terrestre local é inferior a 80% da irradiação incidente no topo da atmosfera.

Quase toda energia solar é emitida sob a forma de irradiação luminosa: 42% no espectro visível, 55% no infravermelho e 3% no ultravioleta próximo. A terra capta um décimo de bilionésimo dessa energia, ou seja, um pouco mais de 15 bilhões de MW. A parte diretamente utilizável, é a radiação luminosa ao nível do solo, cuja potência varia entre 0 e 1.100 W/m² de superfície horizontal, conforme a latitude. Mais de 99% da radiação solar apresenta comprimento de onda inferior a 4 μm apresentando pico de irradiância para o comprimento de onda de 0,5 μm, ou seja, praticamente toda a radiação proveniente do sol encontra-se na região de ondas curtas que corresponde

o espectro visível e do infravermelho. Em vista disso, a radiação proveniente do sol é muitas vezes denominada "radiação de ondas curtas" (MARTINS, 2004).

A radiação fotossinteticamente ativa conhecida como PAR – *Photosynthetically Active Radiation* – passa pela atmosfera praticamente sem sofrer redução por absorção sendo esta a maior componente da radiação solar global incidente, podendo chegar a aproximadamente 50% de todo o espectro (FAGUNDES 2006). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) compreende a faixa espectral da radiação solar de comprimento de onda de 0,4 μm à 0,7 μm (MONTEITH, 1972).

A relação existente entre a produção de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida tem sido amplamente usada para definir a eficiência de uso da radiação pelas culturas Radin et al. (2003).

Costa (2011) mostrou as equações de regressão linear são estimativas aceitáveis na obtenção da radiação fotossinteticamente ativa em função da radiação solar global externa. Em ambientes fechados e climatizados, existe maior correlação entre a radiação fotossinteticamente ativa e a radiação solar global externa.

Em plantas sadias supridas de água e nutrientes, a fotossíntese e a produção de fitomassa são diretamente proporcionais à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida pelo dossel. Entretanto, cuidados são necessários quando se compara a produtividade da cultura em diferentes níveis de radiação, pois a taxa fotossintética e a densidade de fluxo de radiação não têm relação linear dentro do dossel, já que a maioria das folhas fica exposta a baixos níveis de radiação, além do que a absorção da radiação

incidente pelas culturas depende do seu índice de área foliar (IAF), posição solar, geometria e tamanho da folha, ângulo de distribuição, idade, arranjo das plantas, época do ano, nebulosidade dentre outras condições Radin et al. (2003). Andrade (2014), verificou-se que a radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) ao propagar na atmosfera sofre uma redução de 23% em relação aos períodos de seca e chuva.

A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre é um dos fatores determinantes da produção agrícola. Pelo fato deste recurso não ser controlado na natureza, torna-se evidente o interesse pelo maior conhecimento deste elemento meteorológico, uma vez que o mesmo é essencial na escolha adequada de culturas capazes de melhor se adaptarem às condições de cada região (DRECHMER; RICIERI, 2006). Sendo assim, o objetivo deste trabalho é criar um modelo matemático sazonal, que estime a irradiância fotossinteticamente ativa (PAR), sendo esse modelo criado a partir de dados da radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

Materiais e Métodos

Foi usado no presente trabalho dados da radiação solar, coletados pela equipe de trabalho da estação experimental agrometeorológica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Os instrumentos foram instalados no Município de Santa Helena/PR, latitude 24°51'S, longitude 54°19'W-GR e altitude 258m.

A medida da radiação solar global foi realizada por piranômetro da marca Kipp & Zonen, modelo CM3, posicionado

na horizontal. A componente fotossinteticamente ativa (PAR) foi obtida por um piranômetro de sensor quântico da marca LI-COR.

Na obtenção dos valores, referentes a cada componente, utilizou-se uma aquisição de dados da Campbell Scientific Inc programada para realizar uma leitura por segundo de cada canal e armazenar suas respectivas médias a cada cinco minutos.

A série de dados foi coletada, das 8h00 as 16h00, no período de setembro de 2003 a setembro de 2005.

Foi montado um algoritmo, na plataforma de um programa computacional, especificamente para dividir os dados obtidos em mV, de cada componente, pelo fator de calibração de seu respectivo instrumento de medida transformando-os em W/m² (irradiância) e os separando por estação sazonal.

Os dados de irradiância de 23 de setembro de 2003 até 22 de setembro de 2004 compreenderam os períodos primavera, verão, outono e inverno, foram utilizados para calcular os parâmetros de cada modelo matemático (regressão linear simples). A série de dados, referente a cada estação compreendida em setembro desde 2004 até setembro de 2005, foi utilizada para validar o respectivo modelo de cada estação sazonal.

Resultados e Discussão

A partir das medições das irradiâncias diárias, desenvolveu-se modelo matemático para estimar a irradiância fotossinteticamente ativa (PAR_{CAL}) diária em função da irradiância Global (IR_{GLO}), conforme regressão linear simples (equação 1):

$$PAR_{CAL} = a + b * IR_{GLO} \quad (1)$$

As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram que os valores das duas componentes, fotossinteticamente ativa e da Global diária, estão bem distribuídos em torno da reta determinada por regressão linear e que a totalidade das variações no comportamento das duas grandezas são semelhante em relação a cada estação do ano. Fragmentando os valores medidos, percebe-se que no intervalo até 450 W/m² possui

densidade de ponto mais próxima da reta, mostrando maior homogeneidade na variação das duas componentes, enquanto que, para valores maiores que 450 W/m² a densidade dos pontos, relacionados a cada estação do ano, está mais dispersa em relação a reta. A partição com menor dispersão está relacionada ao horário das 8:00 as 10:00h e ao das 15:00 as 16:00h.

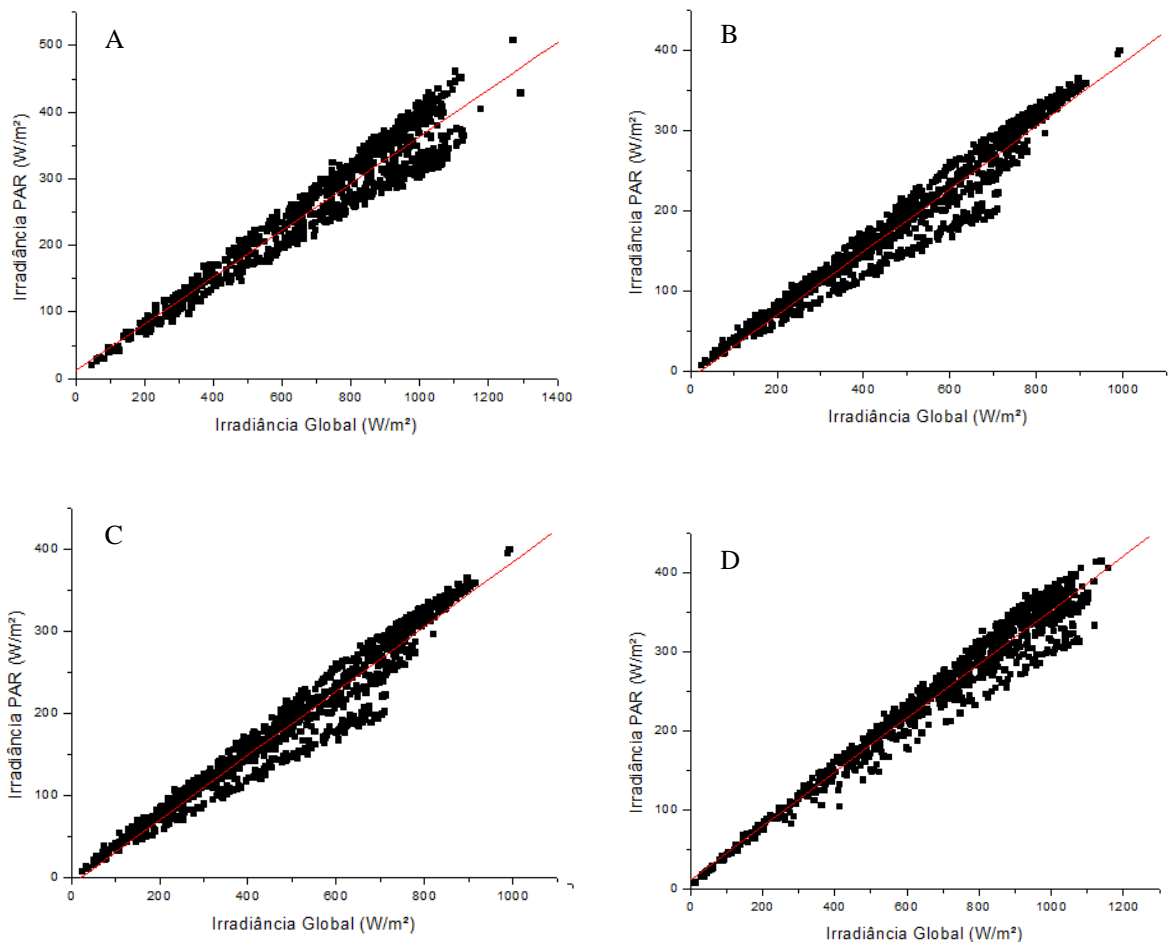


Figura 1. Componente fotossinteticamente ativa e a Global na estimativa da irradiância PAR em função da Global para o verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D).

A irradiância fotossinteticamente ativa (PAR_{CAL}) foi estimada pela equação 1 e comparada com a medida (PAR_{MED}), conforme equação 2. A Tabela 1 mostra as expressões matemáticas,

determinadas por meio de regressão linear, juntamente com a média dos seus respectivos erros específicos (E_M) de cada período sazonal.

$$E_M(\%) = ((PAR_{MED} - PAR_{CAL}) / PAR_{MED}) * 100 \quad (2)$$

O ajuste mais eficaz do modelo ocorreu no inverno (0,87%), onde é observado o menor erro médio com menor desvio padrão e o ajuste menos eficaz do modelo ocorreu no período de verão (-8,51%), onde se observa a maior média dos erros e dos desvios padrões, o valor negativo significa que o modelo

superestima os valores diários calculados da irradiância fotossinteticamente ativa, assim como, no outono (-3,87%). Na primavera o erro médio encontrado foi 2,07%. Os erros médios positivos determinam que os modelos subestimam os valores calculados.

Tabela 1. Períodos sazonais, equações da IR_{PAR} em função da IR_{GLO} e erros médios do período.

PERÍODO	MODELO - PAR (W/m^2)	ERRO MÉDIO - $E_M(\%)$
Verão 2003/04	$PAR_{CAL} = 11,75 + 0,35 * IR_{GLO}$	-8,51
Outono 2004	$PAR_{CAL} = -9,29 + 0,39 * IR_{GLO}$	-3,87
Inverno 2004	$PAR_{CAL} = -10,54 + 0,38 * IR_{GLO}$	0,87
Primavera 2004	$PAR_{CAL} = 10,70 + 0,34 * IR_{GLO}$	2,07

Comparando as irradiâncias (PAR e GLO) coletadas no horário das 10:00 as 15:00 horas encontrou-se os maiores valores de erros médios e desvios padrões. Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 os valores estão bem distribuídos em torno da reta com pouca variação no comportamento entre as duas componentes medidas com valores inferiores a $450W/m^2$. No verão, onde foi registrados os maiores valores de irradiância com maior erro médio, onde verifica-se que o comportamento entre as radiações também está relacionado com valores de suas medidas e período sazonal. Ricieri et al. (2015) observaram que o modelo subestima o valor da irradiância PAR no período de outono para a cidade de Cascavel. Já o modelo referente ao inverno, primavera e verão, superestimam o valor da irradiância PAR.

Conclusões

Os resultados apresentados mostraram que, no período sazonal de verão e outono, o modelo superestima a irradiância fotossinteticamente ativa,

enquanto que na estação do inverno e primavera o modelo subestima a componente.

A variação do comportamento entre a radiação solar fotossinteticamente ativa com a Global se torna bem próxima para valores até $450 W/m^2$.

Referências

- ANDRADE, A. D.; Moura, M. A. L.; SANTOS, A. D.; Carneiro, R. G.; JUNIOR, R. D. S. Radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica em Coruripe, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.1, 68 - 79, 2014.
- COSTA, E. Medidas Radiométricas em Casas de Vegetação com Cobertura Plástica na Região de Campinas - SP. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 448-457, 2011.
- DRECHMER, P. A. O; RICIERI, R. P. Irradiação global, direta e difusa, para a região de Cascavel, Estado do Paraná.

Acta Scientiarum. Technology, v. 28, n. 1, p. 73-77, 2006.

FAGUNDES, R.S. **Comportamento e Modelagem da Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa para a Região de Santa Helena-PR**. 2006. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Cascavel, 2006.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p.145-159, 2004.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 9, n. 3, p. 1972, 747-766.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; JUNIOR, C. R. J. R.; BARNI, N. A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I. A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

RICIERI, R. P. **Modelos de Estimativa e Avaliação dos Métodos de Medida da Radiação solar Difusa**. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho", Campus de Botucatu, São Paulo, 1998. p.81.

RICIERI, R. P.; SOUZA, S. N. M., SILVA, T. D. A, LENZ, A. M. L. M. Estimativa da irradiância fotossinteticamente ativa em função da irradiância solar global. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 3, p. 112-120, 2015.