

ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE PARA O ESTADO DO PARANÁ

UMLAUF C.R.¹; SOUZA J.L.M.²; XAVIER, A.C.³; PAIVA, I.A.⁴; GURSKI, B.C.⁴

¹Graduação Agronomia, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br;

³Professor UFES; ⁴Pós-graduando do PPGCS

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho estimar valores decendiais prováveis da radiação solar incidente a 75% de probabilidade, considerando dados interpolados formando um *Grid* 0,25° x 0,25°, contendo 279 pontos espacializados no Estado do Paraná. Os dados de radiação solar incidente (*Rs*) são das estações meteorológicas automáticas distribuídas no Estado do Paraná. A série compreendeu o período entre 1980 a 2013. O estudo foi desenvolvido baseando-se nos dados de um estudo prévio, que realizou a interpolação dos dados de *Rs* e gerou um *Grid* regular de 0,25° x 0,25°, totalizando 279 pontos para o Estado do Paraná. Os dados foram analisados em uma planilha eletrônica desenvolvida especialmente para essa finalidade, gerando valores prováveis de *Rs* para os 279 pontos do *Grid* constituído. Os dados de *Rs* diários foram somados e agrupados em decêndios, totalizando 37 decêndios por ano. Realizou-se distribuições de frequência com os agrupamentos e identificou-se a função densidade de probabilidade (*fdp*; Exponencial, Gama, Normal, Triangular e Uniforme) que melhor se ajustou aos valores observados, aplicando-se testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. Posteriormente, obteve-se valores prováveis decendiais à 75% para os 279 pontos do *Grid* constituído e 37 decêndios do ano. A partir dos valores calculados foram confeccionados mapas com o programa de geoprocessamento *Surfer* 8.0, utilizando o método de interpolação *krigagem*, para períodos decendiais. A análise de ajuste dos dados evidenciou que a *fdp* que melhor se ajustou aos valores de *Rs* foi a Normal (61,4%), seguido da *fdp* Gama (24,9%). Verificou-se variação da radiação solar incidente nas regiões e tipos climáticos presentes no Estado do Paraná, e observou-se que os valores de *Rs* aumentaram no sentido de Leste-Oeste. O terceiro planalto (planalto de Guarapuava) apresentou os maiores valores de *Rs*, e a baixada litorânea os menores valores. Os resultados obtidos são importantes para estabelecer valores de referência para futuras aplicações em diferentes áreas, como planejamentos agrícolas, ambientais, ecológicas, meteorológicas e hidrológicas, em que a *Rs* exerce muita influência.

Palavras-chave: Energia; radiação global; valor provável.

INTRODUÇÃO

A energia solar vem ganhando relevância no panorama energético para o desenvolvimento sustentável do país. Estudos sobre a radiação solar incidente (R_s) são importantes não apenas para área de energia solar, mas também para aplicações agrícolas, hidrológicas, meteorológicas, ambientais, climatológicas (Hena et al., 2013; Hunt et al., 1998). No setor agrícola, valores de R_s são fundamentais para o planejamento e obtenção da maior eficiência energética nas diversas etapas de produção: seleção das culturas, plantio e colheita, incluindo dimensionamento e operação de sistemas de irrigação e secagem de grãos (Pereira et al., 2002).

A energia irradiada pelo Sol é importante para o aquecimento da terra e do ar, formando zonas de alta e baixa pressão, que promovem os movimentos atmosféricos indispensáveis para o regime pluviométrico. Desse modo, a radiação solar configura-se como um dos parâmetros meteorológicos mais importantes e que merece atenção especial. No entanto, mesmo sendo um parâmetro meteorológico relevante, muitas estações meteorológicas não dispõem de um piranômetro (Ertal, 2015; Baratto, 2016).

Borges et al. (2010) considera que a radiação solar é a força motriz para muitos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no sistema superfície-atmosfera, e constitui-se em importante variável meteorológica em estudos de necessidade hídrica de culturas, modelagem do crescimento e produção vegetal, mudanças climáticas, entre outros.

No setor agropecuário, o uso do R_s vem sendo empregado para determinar características culturais, e aperfeiçoar técnicas de cultivo. Santos et al. (2003) avaliaram a captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja, feijão e espécies de plantas daninhas. Os autores calcularam uma série de índices de crescimento em suas análises: taxa de produção de biomassa seca total (Ct), taxa de produção de biomassa seca foliar (Cf), índice de área foliar (IAF), área foliar específica (SA), razão de massa foliar (Fw), razão de área foliar (FA), taxa assimilatória líquida (Ea) e uso eficiente da radiação (ξ). A soja apresentou maior eficiência em converter a R_s em biomassa, e observou-se que o feijão também obteve boas respostas do uso eficiente da radiação.

No estudo de evapotranspiração a R_s atua como fonte de calor sensível para o processo de evaporação, e a variação de sua intensidade produz variação na temperatura da superfície, sendo importante para o planejamento de projetos de irrigação e estudos climáticos regionais. Assim, valores de R_s podem ser utilizados como auxílio na determinação da classificação de determinada região, quanto à aptidão para implantação de determinada cultura (Souza, 2016).

Apesar de sua importância a R_s não é amplamente medida devido ao alto custos e as necessidades de manutenção e calibração periódica dos equipamentos. Teve-se por objetivo no presente trabalho estimar valores decendiais prováveis da radiação solar incidente à 75% de probabilidade, considerando dados interpolados formando um *Grid* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, contendo 279 pontos espacializados no Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA), no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, Paraná. As análises consideraram todo o estado do Paraná (Figura 1), que apresenta nove tipos climáticos, tendo predominância os tipos Cfa e Cfb.

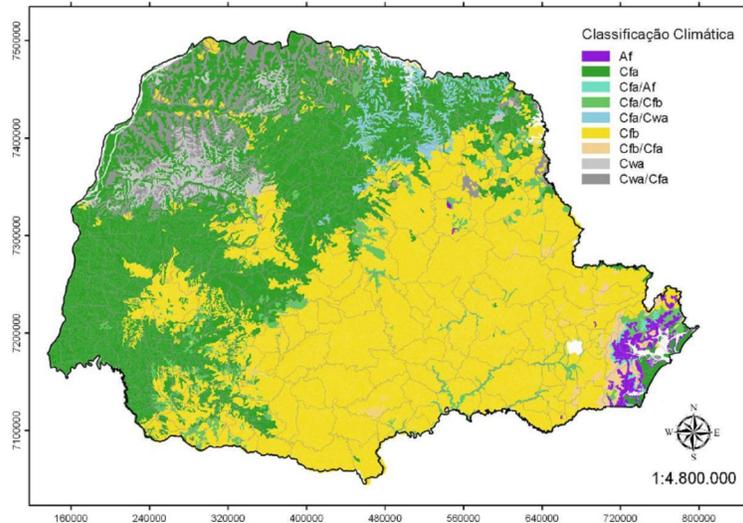


Figura 1 – Classificação climática de Köppen para o Estado do Paraná (ITCG, 2006).

Foram utilizados dados das estações meteorológicas automáticas distribuídas no Estado, que posteriormente foram interpolados em um estudo prévio (Xavier et al., 2016) para gerar um *grid* regular de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, totalizando 279 pontos para o Estado do Paraná (Figura 2). A série compreendeu o período entre 1980 a 2013.

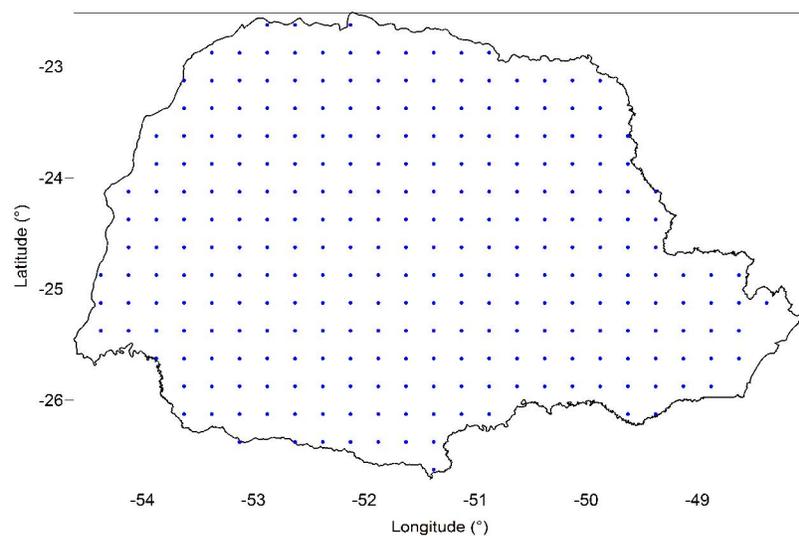


Figura 2 – *Grid* regular de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, totalizando 279 pontos para o Estado do Paraná.

Para o cálculo da radiação solar incidente (R_s) provável foram seguidos os procedimentos metodológicos de Souza et al. (2013):

- a) Agrupamento dos valores diários da R_s em períodos de dez dias (decêndios);
- b) Estabelecimento das distribuições de frequência com os dados das séries observadas;
- c) Cálculo dos parâmetros estatísticos das funções densidade de probabilidade (f_{dp}) (Exponencial, Gama, Normal, Triangular e Uniforme) com as séries de valores decendiais;
- d) Verificação da aderência dos valores decendiais às cinco f_{dp} 's com o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade;
- e) Escolha da f_{dp} que melhor se ajustou a cada decêndio observado;
- f) Determinação dos valores prováveis a 75% de probabilidade ($R_{s75\%}$)

Os valores diários do R_s foram organizados em 37 decêndios por ano. O 37º decêndio de cada ano foi composto pelos cinco ou seis (ano bissexto) últimos dias do ano.

Com as somas dos valores decendiais foram gerados cinco mapas dos valores de $R_{s75\%}$, sendo: média decendial, períodos estacionais (verão, outono, inverno e primavera) e anual. Os mapas foram processados com o programa de geoprocessamento *Surfer* 8.0. O método utilizado para a interpolação dos dados foi a *krigagem*, utilizando *grid* de 279 pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se aumento da R_s no sentido leste-oeste do Estado do Paraná (Figura 3), sendo o litoral paranaense a região com a menor R_s . A região litorânea do Estado possui menores altitudes no relevo, apresenta maior nebulosidade, maior precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, menor R_s (Alvares et al., 2013). Analisando os dados e imagens é possível relacionar a variação da R_s conforme os climas da classificação de Köppen, em que obteve-se os maiores valores de R_s no clima Cfa. Foi possível observar também que ocorrem pequenos desvios pontuais devido à prováveis erros de dados ou processo de interpolação (Figura 3). O menor valor médio decendial de R_s para o Estado foi de $93,50 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$, no período de inverno, e o maior valor médio foi $199,22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$, no período de primavera.

A análise de ajuste dos dados evidenciou que a f_{dp} que melhor se ajustou aos valores de R_s foi a Normal (61,4%), seguidos da distribuição Gama (24,9%), Triangular (8,8%) e Uniforme (4,9%).

O período de inverno apresentou os menores valores prováveis de $R_{s75\%}$, enquanto o verão apresentou os maiores valores prováveis. Os valores médios de $R_{s75\%}$ em cada período foram: $181,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$ no verão; $123,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$ no outono; $119,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$ no inverno; e, $176,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ decêndio}^{-1}$ na primavera.

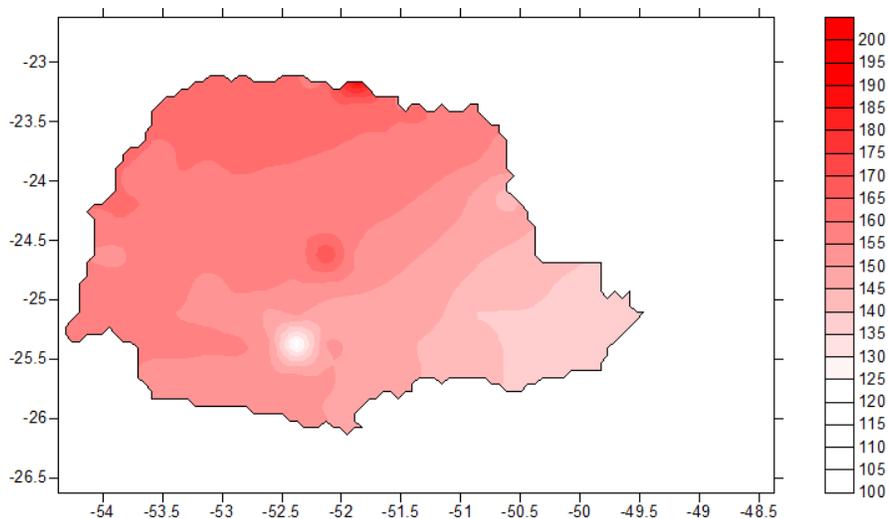


Figura 3 – Média decenal anual da radiação solar incidente provável a 75% ($R_{S75\%}$; $\text{MJ m}^{-2} \text{dec}^{-1}$), para o Estado do Paraná.

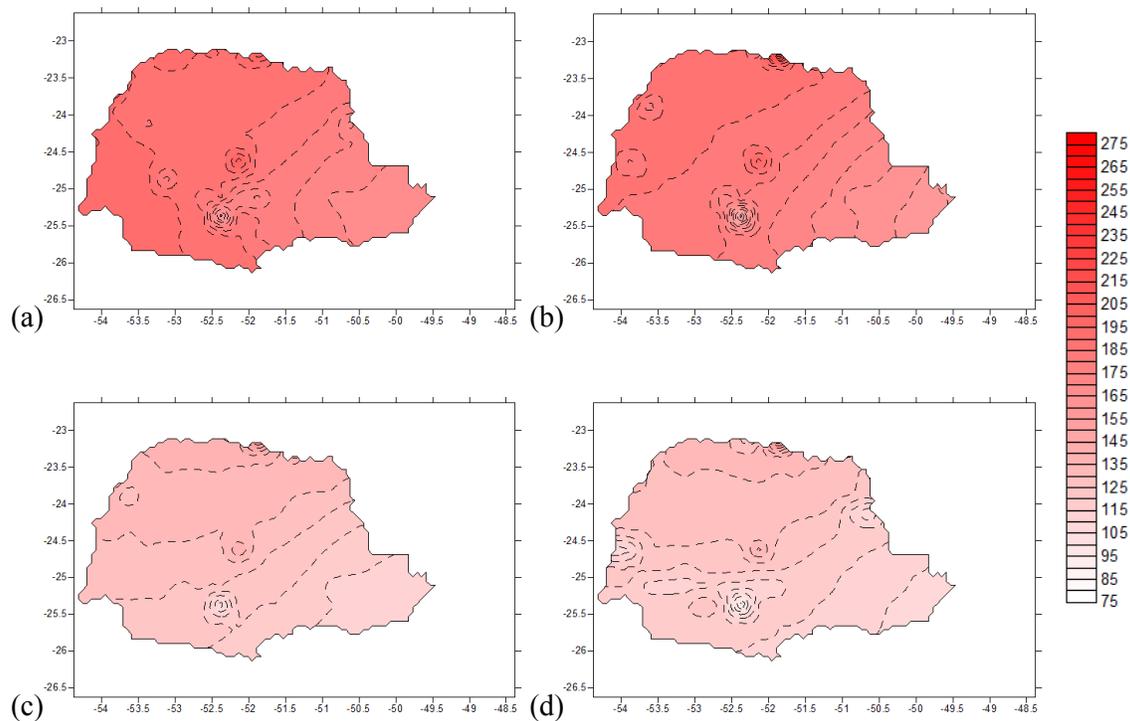


Figura 4 – Valores decenciais prováveis médios de $R_{S75\%}$ ($R_{S75\%}$; $\text{MJ m}^{-2} \text{dec}^{-1}$), nas estações: (a) verão; (b) primavera; (c) outono; e, (d) inverno.

Os valores prováveis acumulados de $R_{S75\%}$ no ano compreenderam: $7144,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ no máximo; $3614,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ no mínimo; e, média de $5492,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 5). O valor mínimo de R_s é encontrado na costa do Sul do Brasil, que possui grandes índices de precipitação. O clima temperado e a influência de sistemas frios, associados com o anticiclone polar Antártico, contribuem com o aumento da nebulosidade na região, especialmente no inverno (Martins et al., 2008). A maior nebulosidade e, conseqüente, menor R_s estão de acordo com os menores valores de $K_r s$ encontrados na região (Allen et al., 1998).

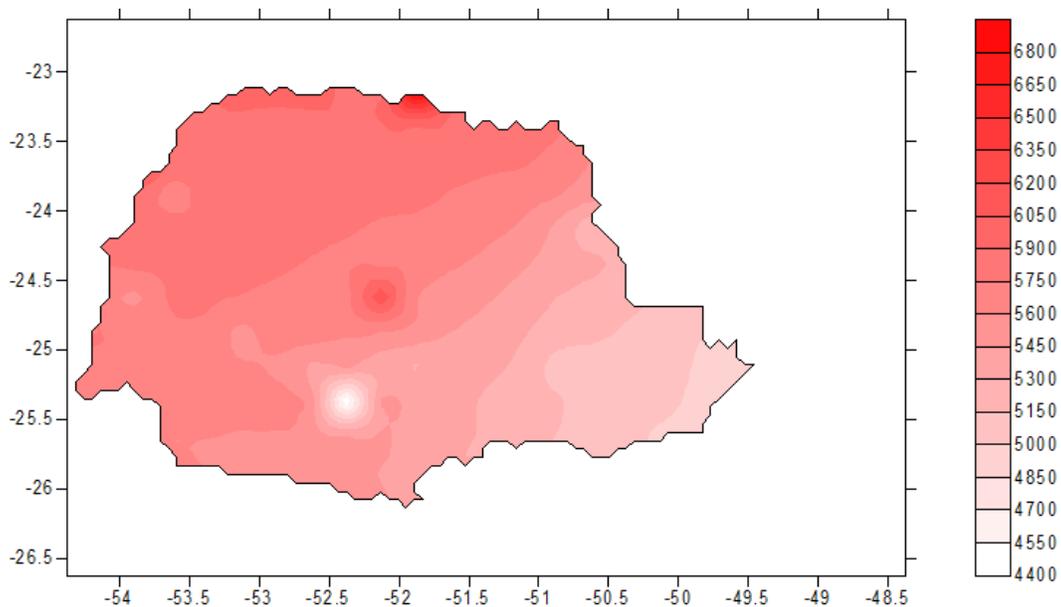


Figura 5 – Valores acumulados de $R_{S75\%}$ ($\text{MJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$), no Estado do Paraná.

Os resultados obtidos no presente trabalho são importantes para estabelecer valores de referência para futuras aplicações em diferentes áreas, como planejamentos agrícolas, ambientais, ecológicas, meteorológicas e hidrológicas, em que a R_s pode ser utilizada para diversas finalidades.

CONCLUSÕES

As funções densidade de probabilidade (f_{dp} 's) normal e gama foram as que melhor se ajustaram aos valores decendiais de R_s ;

A $R_{S75\%}$ foi maior na região do terceiro planalto e menor na região do litoral do Estado do Paraná, tendo aumento na direção leste para oeste, com maiores valores verificados no período estacional verão.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. J.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.2 p.711-728 2013.
- BARATTO, R. L. Coeficiente de proporcionalidade K_{rs} da equação de Hargreaves e Samani para o Brasil. Curitiba, 2016. 72p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso - Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO FILHO, M. A.; SILVA, T. S. M.; PAMPONET, B. M. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 74-80, 2010.
- ERTAL, M. Estimativa do coeficiente de proporcionalidade K_{rs} da equação de Hargreaves e Samani para o Estado do Paraná [Trabalho de Conclusão de Curso]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curso de Agronomia, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2015.
- HENA, A.; ALI, S.; RAHMAN, M. A simple statistical model estimate incidente solar radiation at the surface from NOAA-AVHRR satellite data. **International Journal of Information Technology and Computer Science**, v.2, p.36-41, 2013.
- HUNT, L.A.; KUCHAR, L.; SWANTON, C. J. Estimation of solar radiation for use in crop modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.91, n.3-4, p.293-300, 1998.
- ITCG – Instituto de Terras Cartografias e Geociências. **Mapa de clima do Estado do Paraná**. Curitiba: ITCG, 2006.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; SILVA, S. A. B.; ABREU, S. L.; COLLE, S. Solar energy scenarios in Brazil, Part one: resource assesment. **Energy Policy**, v.38, p.2853-2864, 2008.
- PEREIRA, A. B.; VRISMAN, A. L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.211-216, 2002.
- SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; COSTA, L. C. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, v.62, n.1, p.147-153, 2003.
- SOUZA, J. L. M. **Ciclo da água na agricultura: Fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera**. UFPR/SCA/DSEA/LAMOSA. 2016.
- SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; DAMAZIO, E. C. Relações funcionais entre precipitação provável e média em regiões e climas brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 693-702, 2013.
- XAVIER A. C; KING C. W; SCANLON B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**. v.36 : p.2644-2659. 2016.