

Aplicação do modelo estatístico de Hargreaves-Samani para a estimativa da radiação solar global na cidade de São Mateus do Sul, Paraná.

Application of the Hargreaves-Samani statistical model to estimate global solar radiation in the city of São Mateus do Sul, Paraná.

RESUMO

Maikon William Militão de Carvalho.
maikoncarvalho@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Rodrigo Augusto Modesto
rmodesto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Edson Luís Basseto
basseto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Felipe Vilela Fernandes
felipefernandes.1999@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil.

Recebido:

Aprovado:

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

Neste trabalho é proposto um estudo para testar e validar o modelo estatístico de Hargreaves-Samani (1982) na estimativa da radiação solar, utilizando dados obtidos na estação climatológica de São Mateus do Sul no período de 2011 a 2019. Após a elaboração dos modelos foram realizados os cálculos dos erros percentuais, demonstrando que a utilização do modelo apresenta um desempenho satisfatório para a situação analisada. Os valores estimados são próximos aos apresentados na literatura e semelhantes aos resultados com a utilização do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação solar. Modelo de Hargreaves-Samani. Modelos estatísticos.

ABSTRACT

In this work, a study is proposed to test and validate the Hargreaves-Samani (1982) statistical model in the estimation of solar radiation, using data obtained at the climatological station of São Mateus do Sul in the period from 2011 to 2019. the calculations of the percentage errors were performed, demonstrating that the use of the model presents a satisfactory performance for the analyzed situation. The estimated values are close to those presented in the literature and similar to the results with the use of the model.

KEYWORDS: Solar Radiation. Hargreaves-Samani model. Statistical models.



INTRODUÇÃO

O estudo acerca da irradiação solar é de grande interesse para grandes áreas da economia, principalmente para o setor agrícola onde são estudados os efeitos da irradiação na evapotranspiração, visto que a irradiação solar age diretamente nas transformações físico-químicas e também para o setor industrial no estudo da conversão de energia solar que é a maior fonte de energia para a terra em energia fotovoltaica e de biomassa.

A irradiação solar quando chega na atmosfera sofre os processos de absorção e difusão da mesma, sendo que as condições de nebulosidade atuam firmemente nesses dois processos. A irradiação que chega da direção do sol é chamada de direta normal, a irradiação que atinge a superfície é chamada de horizontal difusa e esse tipo é refletido fazendo com que uma parte volte para a atmosfera, o somatório das radiações resulta na horizontal global.

Para encontrar informações referentes a irradiação solar, se faz necessário o uso de equipamentos conhecidos como sensores que apresentam um custo elevado, dificultando o monitoramento em muitas cidades em obter tais informações. Para minimizar essas dificuldades foram desenvolvidos ao longo dos anos modelos estatísticos que facilitam o estudo e barateiam o custo para levantar estas informações e obter os dados necessários para uma análise mais profunda.

Para o trabalho em questão, foi utilizado o modelo criado por Hargreaves e Samani (1982) que é um modelo simples pois utiliza basicamente os dados referentes as temperaturas máximas e mínimas (T_{max} e T_{min} em $^{\circ}C$), além da irradiação extraterrestre (H_0 – MJ/m²) para estimar a irradiação solar global (H_g – MJ/m²). Para elaboração do modelo estatístico foram utilizados os dados meteorológicos da cidade de São Mateus do Sul no Paraná coletados ao longo dos anos de 2011 a 2019 por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e para a validação do modelo proposto foram utilizados os dados do ano de 2012.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o modelo fosse aplicado foram coletados dados meteorológicos referentes a São Mateus do Sul através do INMET, cidade localizada no Paraná e presente em uma região de clima predominantemente subtropical, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1-Localização de São Mateus do Sul.



Fonte: Viaje Paraná.

Durante o estudo foram analisados os dados de fornecidos pelo INMET que estavam armazenados em uma banco de dados sendo eles: Tmax, Tmin, Hg, umidade relativa do ar (%), velocidade dos ventos (m/s), direção do vento (°), pressão atmosférica (hPa) bem como a precipitação (mm).

Os dados passaram por um controle de qualidade onde foi necessário realizar uma filtragem, visto que alguns números relacionados as variáveis necessárias para o cálculo da irradiação solar e elaboração do modelo não puderam ser coletados em alguns horários dos dias estudados, sendo utilizados no estudo somente dias em que todas as variáveis foram medidas.

Como descrito por Frank Vignola et al. (2012) a irradiação pode ser dividida em 3 partes sendo denominadas: Global, Direta Normal e Difusa. A irradiação solar que atinge qualquer superfície dependerá da latitude (ϕ) e o ângulo zenital (Z) e a declinação solar (δ) no instante no qual for considerado como descrito por Varejão et al. (2006). Portanto a sofrerá grande influência do movimento de rotação da terra em torno do seu próprio eixo, fazendo com que os ângulos de incidência solar se alterem ao longo do tempo diário.

O ângulo zenital(Z) que é o vetor posição do sol e a vertical de um local, num período específico, segundo Varejão et al. (2006) pode ser calculado da seguinte forma:

$$z = \cos^{-1}(\sin\phi * \sin\delta + \cos\phi * \cos\delta * \cos h) \quad (1)$$

Sendo ϕ o valor referente a latitude do local a ser calculado e o h se refere ao ângulo no momento do nascer do sol IQBAL et al. (1983), sendo que esse ângulo pode ser calculado conforme a Eq. (2):

$$h = (12 - Hd) * 15^\circ \quad (2)$$

O Hd se refere a Hora Solar Verdadeira estando caracterizado em formato decimal.

Já a declinação solar que é o ângulo entre o vetor terra-sol e o plano equatorial como descrito por Muneer (1997) é dada pela Eq. (3)

$$\delta = 23,45 * \sin \left[\frac{360 * (NDA - 80)}{365} \right] \quad (3)$$

Sendo o NDA referente ao dia corrente a ser estudado para o cálculo da declinação.

Para efetuar o cálculo do Ho será necessário calcular o Ângulo (H) que a terra descreve desde quando o sol nasce até o pôr do sole outro termo será o fator de excentricidade terrestre $(d/D)^2$.

$$H = \cos^{-1}(\tan\phi * \tan\delta) \quad (4)$$

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2 * \pi * NDA}{365}\right) \quad (5)$$

Após todos os cálculos de termos auxiliares pode-se calcular o Ho que é dividida em horária é diária, no modelo de Hargreaves-Samani foram utilizadas a irradiação extraterrestre diária, portanto o cálculo será:

$$H_{0\text{diária}} = 37,6 * \left(\frac{d}{D}\right)^2 * (H * \text{sen}\phi * \text{sen}\delta + \text{cos}\phi * \text{cos}\delta * \text{sen}H) \quad (6)$$

O modelo proposto por Hargreaves-Samani (1982) relaciona Tmax e Tmin máxima, mínima bem como o Ho para efetuar o cálculo do Hg, ficando da seguinte maneira como descreveu PAES et al. (2018):

$$K_T = \alpha(T_{\text{máx}} - T_{\text{min}})^{0,5} \quad (7)$$

O parâmetro α da Eq. 7 configura um coeficiente de calibração empírico para a equação de Hargreaves-Samani tendo sido determinado variando de 0,16 a 0,17 em regiões continentais e 0,19 a 0,20 em regiões costeiras. Para São Mateus do Sul foi encontrado um coeficiente de calibração igual a 0,16, estando coerente com o valor definido na literatura.

Após efetuarmos os cálculos utilizando o modelo foi necessário realizar a validação do mesmo através de dados estatísticos como o RMSE (erro quadrático médio), MAE (erro absoluto médio) e também o coeficiente de determinação (R^2), sendo que esses índices podem ser calculados da seguinte forma:

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

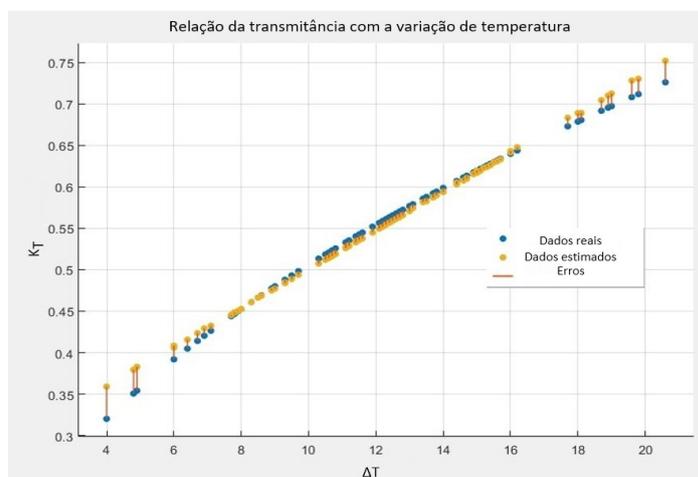
$$\text{RMSE} = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|^2} \quad (9)$$

$$\text{MAE} = n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (10)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

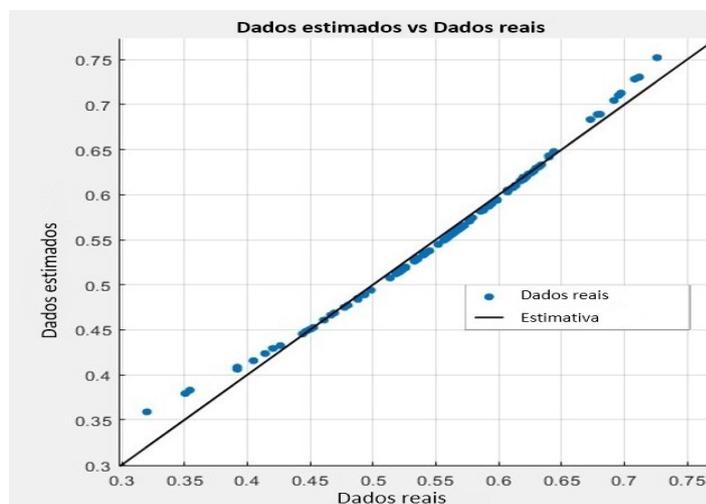
Os gráficos 1 e 2 apresentam uma comparação entre os valores estimados e os reais, sendo possível visualizar a proximidade entre as curvas provando que o modelo em questão teve uma excelente performance.

Gráfico 1- Comparação entre os valores estimados e os reais



Fonte: Autoria própria (2020).

Gráfico 2- Comparação entre os valores estimados e os reais



Fonte: Autoria própria (2020).

O modelo obteve um R^2 de 0,99, RMSE de 0,0095167 ou de 0,952% e um MAE de 0,0069359 ou 0,694%. Nas tabelas 1 e 2 estão classificados os significados para os indicadores estatísticos utilizados.

Tabela 1 – Classificação do RMSE

RMSE	Classificação
RMSE < 10%	Excelente
$10\% \leq \text{RMSE} < 20\%$	Bom
$20\% \leq \text{RMSE} < 30\%$	Aceitável
RMSE $\geq 30\%$	Pobre

Tabela 2 – Classificação do coeficiente de determinação

R^2	Classificação
0,0	Não Associada
0,2	Fracamente positiva
0,5	Moderadamente positiva
0,8	Fortemente positiva
0,10	Fortemente positiva

Ao analisar os valores obtidos, comparando-os com as tabelas e visualizando os gráficos é possível confirmar o excelente desempenho do modelo, sendo assim validado. Estando o modelo com classificação excelente para o RMSE e muito próximo do perfeitamente positivo para o R^2 .

CONCLUSÃO

O modelo estatístico de Hargreaves-Samani proposto para a estimativa da radiação solar global mostrou-se adequado após a análise dos indicadores. O coeficiente de determinação bem como o erro quadrático médio apresentaram resultados próximos dos valores medidos, sendo um modelo eficiente para a utilização em São Mateus do Sul no Paraná.

REFERÊNCIAS

INMET. PORTAL DO INMET, 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15, ago. 2020.

IQBAL, Muhammad. **AN INTRODUCTION TO SOLAR RADIATION**. Vancouver, British Columbia, Canada: Academic Press, 1983. p.43.

MUNEER, T.. **SOLAR RADIATION AND DAYLIGHT MODELS**. 2. ed. Edinburgh, Scotland: ELSEVIER, 2004. p. 10-11.

PAES, Angélica Castilho; SILVA, M.B.P; GOMES, Eduardo Nardini; ESCOBEDO, João Francisco. **ESTIMATIVA DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PELOS MODELOS DE HARGREAVES-SAMANI E APRENDIZADO DE MÁQUINAS SVM E ANN EM BOTUCATU/SP/BRASIL, PR**. Botucatu, São Paulo, Brasil, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/689/689>. Acesso em: 19 ago. 2020.

VAREJÃO-SILVA, M.a. **METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA**. 2. ed. Recife, Brasil: Versão digital, 2006. p. 165-182.

VIGNOLA, Frank; MICHALSKY, Joseph; STOFELL, Thomas. **SOLAR AND INFRARED RADIATION MEANSUREMENTS** 1. ed. U.S.: CRC PRESS, 2012. p. 22-23.