



ANÁLISE DA INCIDÊNCIA SOLAR NA CIDADE DE ITUIUTABA – MG COMO PARTE DE UM PROJETO DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Renner Augusto Alves Lima*¹, Fernando Costa Malheiros¹

¹Engenharia Elétrica – Universidade do Estado de Minas Gerais

Resumo – A busca por fontes renováveis de energia é um dos focos do mercado e a busca por melhorias na eficiência desse sistema já existente é parte dessa corrida. Esse trabalho aborda uma fonte renovável de energia elétrica, os módulos fotovoltaicos. Nesse contexto, o trabalho aborda o potencial energético da região de Ituiutaba-MG, por meio de dados experimentais da incidência solar comparando-os a modelos teóricos para estimativa e correção dessa incidência. O modelo de Hargreaves e Samani se mostrou mais assertividade que o modelo Bristow & Campbell para os dados experimentais avaliados. Os parâmetros avaliados no trabalho são base para o desenvolvimento de um mecanismo para melhoria da eficiência de módulos fotovoltaicos por meio do controle de temperatura.

Palavras-Chave – incidência solar, eficiência de módulos fotovoltaicos, amplitude térmica.

ANALYSIS OF THE SOLAR INCIDENCE IN THE CITY OF ITUIUTABA - MG AS PART OF A PROJECT TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract - The search for renewable sources of energy is one of the focuses of the market and the search for improvements in the efficiency of this already existing system is part of this race. This work addresses a renewable source of electric power, photovoltaic modules. In this context, the work addresses the energy potential of the Ituiutaba-MG region, by means of experimental data of the solar incidence comparing them to theoretical models for estimating and correcting this incidence. The Hargreaves and Samani model was more assertive than the Bristow & Campbell model for the experimental data evaluated. The parameters evaluated in the work are basis for the development of a mechanism to improve the efficiency of photovoltaic modules by means of temperature control.

Keywords – solar incidence, efficiency of photovoltaic modules, thermal amplitude.

*renneramil@gmail.com

I. INTRODUÇÃO

A busca por novos métodos para geração de energia elétrica, como a fotovoltaica, é vista como uma tecnologia de energia limpa e sustentável, pois sua fonte de energia, além de abundante, não produz resíduos tóxicos aos seres humanos. O Brasil, por ser um país tropical de vasta extensão territorial, recebe uma grande quantidade de radiação solar, porém esse potencial ainda não é aproveitado de modo significativo.

Algumas regiões do nosso país apresentam maiores índices de irradiação média anual tais como o nordeste, sudeste e centro-oeste. Esse artigo modela a incidência solar na cidade de Ituiutaba - MG e compara os resultados obtidos com os dados reais medidos na estação meteorológica automática Ituiutaba-A512, localizada na Latitude: -18,952907°, Longitude: -49,525072° e Altitude: 540 m [6].

Conceição e Marin (2007) avaliaram experimentalmente os valores diários da radiação solar global em quatro cidades do Brasil, duas localizadas na região Sudeste e as outras no Nordeste. Os valores experimentais foram usados para avaliar os métodos de correção de Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984), ambos usam a temperatura do ar como parâmetro de ajuste dos valores de radiação solar [4].

Gnoatto *et. al.* (2005) apresentou em seu trabalho um modelo experimental que compara a variação da eficiência energética de módulos fotovoltaicos de silício monocristalino em campo com temperatura de 51°C, comparando os resultados com um módulo sujeito a um filme de água uniforme em sua superfície que o manteve a temperatura de 35°C. Nesse estudo obtiveram eficiência melhorada em 8,97%, entretanto, o filme de água interfere na incidência solar sobre o módulo [5].

Esse artigo é um estudo inicial do potencial de incidência solar na cidade de Ituiutaba - MG para uma posterior proposição de um sistema de aumento da eficiência de módulos fotovoltaicos por meio do controle de temperatura. Apesar do objetivo do projeto ser a melhoria da eficiência dos módulos, este trabalho aborda o potencial energético fotovoltaico da região usando de modelos matemáticos e dados experimentais de uma estação meteorológica, não abordando o aspecto do aumento do rendimento do módulo devido ao controle de temperatura e nem o mecanismo usado para tal controle.

II. FUNDAMENTAÇÃO

As metodologias para o cálculo do potencial de incidência solar levam como parâmetro inicial a incidência solar extraterrestre total (H_0) determinado em Mega Joules [MJ], descrito na equação (EKICI; TEKE,2011) [1].

$$H_0 = \frac{24}{\pi} * I_{sc} * E_0 * \sin\theta * \sin\delta * \left[\left(\frac{\pi}{180} \right) * \omega_s - \tan \omega_s \right] \quad (1)$$

Em que:

- I_{sc} - constante solar.
- E_0 - fator de correção de excentricidade.
- θ - latitude.
- δ - ângulo de declinação solar.
- ω_s - ângulo do nascer do sol.

Uma vez estabelecida a incidência solar extraterrestre total, é necessário usar modelos matemáticos que corrigem esse parâmetro para a região de interesse, no caso, corrigir esse fator para a cidade de Ituiutaba-MG. Diante dos vários modelos existentes, usamos os modelos de Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984). Ambos levam em consideração a amplitude térmica no período avaliado, ou seja, usam a máxima e a mínima temperatura medida no dia.

O modelo de Hargreaves e Samani (1982) é descrito por [3]

$$HS = k\sqrt{(\Delta T_{max} - \Delta T_{min})} H_0 \quad (2)$$

Em que:

- k - coeficiente de ajuste variando entre 0,16 °C-1 para localidades no interior, distante do oceano; e 0,19 °C-1 para localidades litorâneas ou próximas a grandes corpos de água.
- ΔT_{max} - variação de temperatura máxima [°C].
- ΔT_{min} - variação de temperatura mínima [°C].
- H_0 - incidência solar extraterrestre total.

Outro modelo avaliado para correção do potencial de incidência solar para a cidade de Ituiutaba-MG é o modelo de Bristow & Campbell (1984), descrito pela equação [2]

$$BC = H_0 * A * \left[1 - e^{(-B * (\Delta T_{max} - \Delta T_{min})^C)} \right] \quad (3)$$

Em que:

- H_0 - incidência solar extraterrestre total.
- A, B e C - são coeficientes empíricos. Baseado em Conceição e Marin (2007) os valores dos coeficientes “A” e “C” são 0,7 e 2,4, respectivamente, enquanto que o valor de “B” é 0,00515 [4].
- ΔT_{max} - variação de temperatura máxima [°C].
- ΔT_{min} - variação de temperatura mínima [°C].

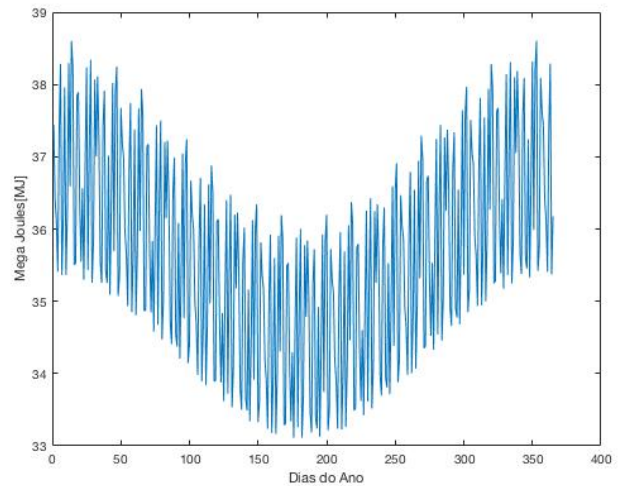
III. RESULTADOS

Para avaliar e efetividade dos modelos estudados, calculou-se os valores de incidência solar extraterrestre para o período de 365 dias. A título de validação dos modelos, foram levantados os valores reais medidos na estação meteorológica

automática Ituiutaba-A512 para o período de 1 a 31 de Maio de 2018, ou seja, os dias de 121 a 151 do ano. Os valores experimentais foram comparados com os valores obtidos pelos dois modelos Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984), descritos nas equações 2 e 3, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima diárias (amplitude térmica) também foram coletadas da estação meteorológica automática Ituiutaba-A512.

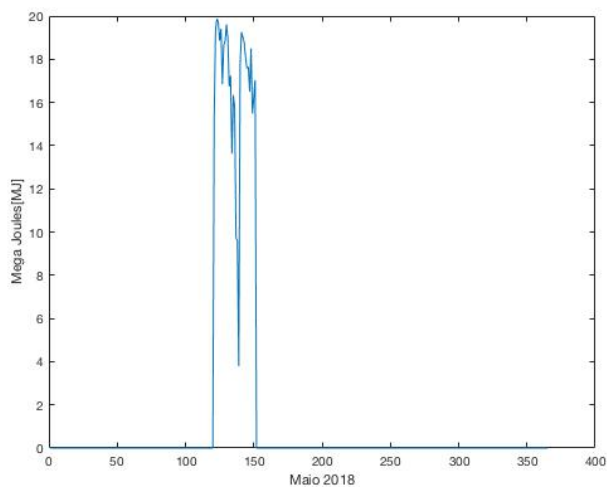
A Figura 1 mostra a incidência solar extraterrestre total calculado através do modelo matemático descrito pela equação 1 ao longo do período de um ano (365 dias) para a cidade de Ituiutaba-MG. A incidência solar nos dias 1 e 365 são maiores, pois correspondem ao período do verão onde os dias são maiores consequentemente o potencial de energia é maior. No período estudado (121 a 151) corresponde ao período do inverno onde os dias são menores que por consequência há um menor potencial de energia. Essa informação é importante, pois o potencial de energia captado pelo módulo fotovoltaico varia durante o ano.

Figura 1: Incidência solar extraterrestre total ao longo dos 365 dias do ano calculado pela equação 1.



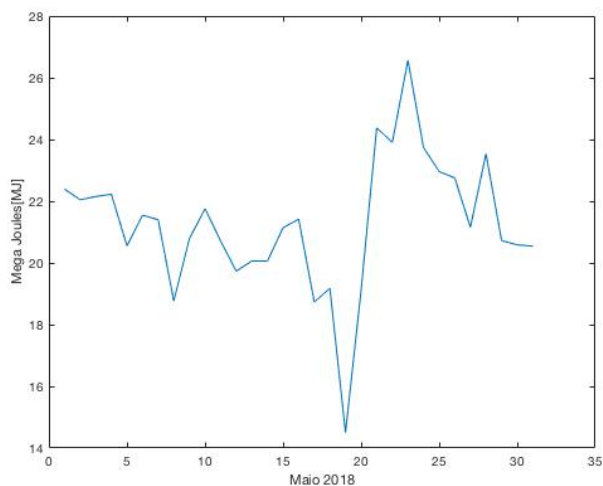
A Figura 2 mostra os dados da Estação Automática: Ituiutaba (MG) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET referentes a radiação solar incidente nos dias 121 a 151 que corresponde ao mês de maio de 2018. É possível observar que dentro de um período relativamente curto há grandes variações na radiação solar medida experimentalmente. Isso pode ser atribuído por fatores externos, e.g., nuvens e chuva.

Figura 2: Radiação solar medida na estação meteorológica nos dias 121 a 151 (1 a 31 de Maio de 2018).



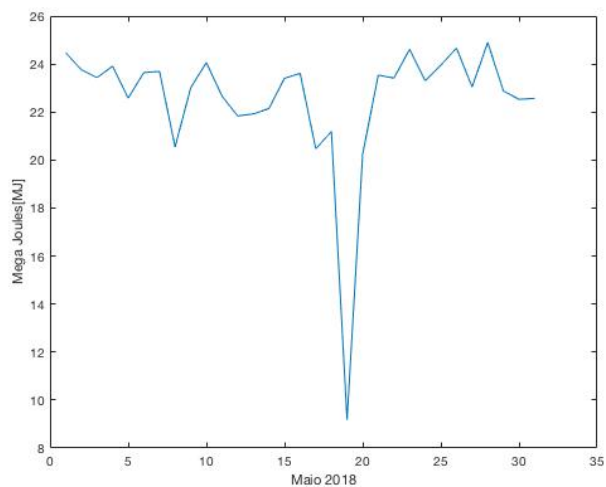
A Figura 3 mostra os valores de incidência solar extraterreste total corrigidos pelo método de Hargreaves e Samani (1982), descrito na equação 2.

Figura 3: Valor da incidência solar extraterreste total corrigido pelo método de Hargreaves e Samani (1982)



A Figura 4 mostra a incidência solar extraterreste total usando o modelo de Bristow & Campbell (1984), descrito na equação 3.

Figura 4: Valor da incidência solar extraterreste total usando o modelo de Bristow & Campbell (1984).



A Tabela I mostra a comparação entre os resultados experimentais e os modelos teóricos de Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984) bem como os desvios percentuais. Como há variações nos dados experimentais (nuvens e chuva) que os modelos teóricos não contemplam, uma forma de comparar a incidência solar é avaliar os valores para todo o mês de Maio de 2018. Em outras palavras, a Tabela I mostra a soma dos valores medidos em cada um dos 31 dias (121 a 151) de experimento comparado com a soma dos valores dos modelos de Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984) para o mesmo período. O erro entre o modelo de Hargreaves e Samani (1982) e os dados experimentais foi de 20,58 %, já com o modelo de Bristow & Campbell (1984) o erro foi de 32,48%. Além disso, os modelos de Hargreaves e Samani (1982) e Bristow & Campbell (1984) apresentam uma diferença de 8,99% entre si.

O modelo de Hargreaves e Samani (1982) se mostrou mais adequado que o modelo de Bristow & Campbell (1984) para os dados experimentais avaliados.

Tabela I: Soma dos valores medidos em cada um dos 31 dias (121 a 151) em Mega Joules [MJ].

Fonte	Incidência Solar	Erro %
Dados Experimentais	17,03	0
Hargreaves e Samani (1982)	20,54	20,58
Bristow & Campbell (1984)	22,57	32,48

IV. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou o potencial de incidência solar energético para a cidade de Ituiutaba – MG. Este é um trabalho inicial de um projeto que visa aumentar a eficiência de um módulo fotovoltaico a partir do controle da temperatura. Para tanto, conhecer e estabelecer modelos que representem o potencial de incidência solar é fundamental para um estudo organizado que siga uma metodologia científica para a obtenção dos resultados finais. Esse trabalho cumpre esse objetivo de avaliar um modelo para a incidência solar na região estudada. Os resultados mostram que o modelo de Hargreaves e Samani (1982) se mostrou mais adequado aos

dados coletadas da estação meteorológica automática Ituiutaba-A512.

REFERÊNCIAS

- [1] EKICI, C.; TEKE, I. Developing a new solar radiation estimation model based on Buckingham theorem. **Elsevier**. Turquia, p. 263-269. 1 mar. 2018.
- [2] BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.31, p.159-166, 1984.
- [3] HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Reston, v.108, n.3, p.225-230, 1982.
- [4] CONCEIÇÃO, Marco Antônio Fonseca; MARIN, Fábio Ricardo. Avaliação de modelos para a estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p.1-9, mar. 2007.
- [5] GNOATTO, Estor et al. Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.191-196, 27 mar. 2005. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v27i2.1484>.
- [6] Instituto Nacional de Meteorologia (2018). *Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática*. Acessado em 15 de junho de 2018, em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.