

**Estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-Prescott para Tocantins**  
**Estimate of global radiation by the Angström-Prescott model for Tocantins**  
**Estimación de radiación global por el modelo Angström-Prescott para Tocantins**

Recebido: 01/05/2020 | Revisado: 07/05/2020 | Aceito: 17/05/2020 | Publicado: 26/05/2020

**Charles Campoe Martim**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2955-0105>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [charlescampoemartim@gmail.com](mailto:charlescampoemartim@gmail.com)

**José de Souza Nogueira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2504-7924>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [nogueira@ufmt.br](mailto:nogueira@ufmt.br)

**Luiz Eduardo Barros Guia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4271-3362>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [eng.luizedu@gmail.com](mailto:eng.luizedu@gmail.com)

**Leone Francisco Amorin Curado**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0375-7725>

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

E-mail: [leonecurado@gmail.com](mailto:leonecurado@gmail.com)

**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes (a e b) da equação de Angström-Prescott e determinar o erro na estimativa da radiação global para cidades do estado de Tocantins. Os dados meteorológicos foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para as cidades de Araguaína, Palmas, Pedro Afonso e Peixe que foram submetidos a um filtro e posteriormente separado 70% para a geração dos coeficientes e 30% para a validação (MBE, RMSE e d). O coeficiente linear (a) varia de 0,2291 a 0,3074 e angular (b) de 0,4295 a 0,4799 com correlação entre a radiação global e a insolação acima de 90%, onde na validação o erro (MBE) variou de 0,01 a 0,06 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, espalhamento de 1,59 a 1,87 MJ

$\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  e índice de concordância de 0,95 a 0,96. Pode-se utilizar os coeficientes de Angström-  
Prescott individuais para cada cidade avaliada com correlação acima de 90%.

**Palavras-chave:** Radiação global; Modelo empírico; Insolação.

### Abstract

The objective of the work was to determine the coefficients (a and b) of the Angström-  
Prescott equation and to determine the error in the estimate of global radiation for cities in the  
state of Tocantins. Meteorological data were obtained from the National Meteorological  
Institute (INMET) for the cities of Araguaína, Palmas, Pedro Afonso and Peixe, which were  
subjected to a filter and subsequently separated 70% for the generation of coefficients and  
30% for validation (MBE, RMSE ed). The linear coefficients (a) ranged from 0.2291 to  
0.3074 and angular (b) from 0.4295 to 0.4799 with a correlation between global radiation and  
insolation above 90%, where in the validation the error (MBE) ranged from 0.01 to 0.06 MJ  
 $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , spreading from 1.59 to 1.87 MJ  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  and concordance index from 0.95 to 0.96.  
Individual Angström-Prescott coefficients can be used for each city evaluated with a  
correlation above 90%.

**Keywords:** Global radiation; Empirical model; Heat stroke.

### Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar los coeficientes (a y b) de la ecuación de Angström-  
Prescott y determinar el error en la estimación de la radiación global para ciudades en el  
estado de Tocantins. Se obtuvieron datos meteorológicos del Instituto Nacional de  
Meteorología (INMET) para las ciudades de Araguaína, Palmas, Pedro Afonso y Peixe, que  
se sometieron a un filtro y posteriormente se separaron 70% para la generación de  
coeficientes y 30% para validación (MBE, RMSE e d). Los coeficientes lineales (a) variaron  
de 0.2291 a 0.3074 y angulares (b) de 0.4295 a 0.4799 con una correlación entre la radiación  
global y la insolación por encima del 90%, donde en la validación el error (MBE) varió de  
0.01 a 0.06 MJ  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , extendiéndose de 1.59 a 1.87 MJ  $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$  e índice de acuerdo de 0.95 a  
0.96. Se pueden usar coeficientes individuales de Angström-Prescott para cada ciudad  
evaluada con una correlación superior al 90%.

**Palabras clave:** Radiación global; Modelo empírico; Golpe de calor.

## 1. Introdução

Segundo o senso agropecuário do ano de 2017, o estado de Tocantins possui uma área de 15,2 milhões de hectares, onde são produzidos cana de açúcar, soja, banana, coco-da-baia na agricultura e carne bovina, leite e carne de frango na pecuária empregando 204 mil pessoas (IBGE, 2019), e a fim de melhorar a eficiência na cadeia produtiva, a agropecuária moderna vem se utilizando de informações científicas, como a radiação global que influencia diretamente o crescimento das plantas na fotossíntese e rendimento de animais no conforto animal.

A forma mais precisa de se obter a radiação global é fazer a medida diretamente com um pirômetro em estações automáticas ou, em sua falta, pode ser estimada por modelos empíricos que relacionam variáveis de simples medição como a insolação ( $n$ ) e a radiação global (Almorox et al. 2020). No Brasil o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) é o órgão governamental responsável por coletar informações meteorológicas e disponibilizar esses dados, porém, em função da grande dimensão territorial e pelo grande número de dados ausentes na série histórica (principalmente da radiação global) que em algumas estações chegam a 41% como em Souza et al. (2019), modelos empíricos ajustados são necessários.

Um dos modelos mais utilizado e preciso até então, foi proposto por Angström-Prescott ( $kt = a + b (RI)$ ) que relaciona linearmente a razão de insolação ( $RI$ ) com a transmissividade atmosférica ( $kt$ ) e deve ser ajustado para cada local, gerando um coeficiente linear ( $a$ ), que representa a radiação difusa, e o coeficiente angular ( $b$ ), que representa a radiação direta (Almorox et al. 2020, Angström, 1924, Ibid et al. 2020, Prescott, 1940). O modelo original de Angström-Prescott vem sendo modificado com a inserção de polinômios de segundo e terceiro grau, logaritmo, seno, cosseno e exponencial da  $RI$ , a fim de melhorar o seu desempenho, porém na maioria das vezes essa modificação não proporciona uma melhoria (Almorox et al. 2020, Souza et al. 2016).

Como os coeficientes do modelo representa as características meteorológicas locais, recomenda-se o seu ajuste local a fim de diminuir o erro na estimativa da radiação global (Almorox et al. 2020). O trabalho mais abrangente envolvendo a calibração dos coeficientes do modelo de Angström-Prescott para o Brasil, foi publicado por Mota et al. (1977) para 95 cidades brasileiras, porém nenhuma está no estado de Tocantins e posteriormente a essa data vários trabalhos foram desenvolvidos como Pavão et al. (2018) para Sinop em Mato Grosso, Souza et al. (2019) para quatro cidades em diferentes latitudes na Amazônia brasileira e Souza et al. (2016) para três cidades do estado de Alagoas. Para outros países Almorox et al. (2020)

calibrou e validou os coeficientes para a Espanha, Asilevi et al. (2019) calibrou para Gana e Liu et al. (2012) para a China.

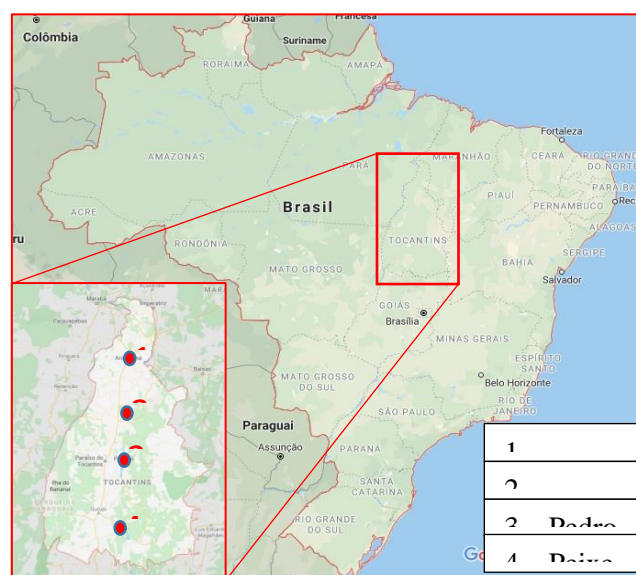
Por não haver nenhum estudo no Estado de Tocantins, o objetivo do trabalho foi calibrar os coeficientes do modelo de Angström-Prescott e validar o modelo a fim de determinar o seu desempenho na estimativa da radiação global nas cidades de Araguaína, Palmas, Pedro Afonso e Peixe.

## 2. Metodologia

Segunda a classificação climática de Köppen Tocantins é Awa (Clima Tropical Chuvoso) com precipitação média anual de 1714 mm, com a menor precipitação de 4 mm em agosto que compreende a estação seca e o maior valor de 284 mm em janeiro que compreende a estação chuva, a temperatura média do ar oscila de 26,9 a 28,9 °C com média de 27,4 °C, a insolação anual é de 2432 horas com menor valor de 143 horas em fevereiro e maior em agosto com 289 horas, respectivamente (Bortolon et al. 2016).

É importante notar na Figura 1 que as estações meteorológicas utilizadas no respectivo estudo estão distribuídas ao longo de todo o estado o que permite avaliar a influência da latitude na geração dos coeficientes do modelo de Angström-Prescott que foi encontrada no estudo de Souza et al. (2019a) para a Amazônia brasileira.

Figura 1. Localização das estações meteorológicas inseridas no Estado de Tocantins utilizadas no respectivo.



(Fonte: Google maps).

A base histórica de dados meteorológicos foi obtida no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações meteorológicas automáticas na Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET/INMET) e estações convencionais no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Cabe salientar que conforme visto na Tabela 1, as estações utilizadas neste estudo estão distribuídas por todo o estado de Tocantins, da latitude variando de -7,1 a -12° que corresponde a abrangência espacial de 4,9°, altitude de 190 a 292 metros com uma base de dados meteorológico diário variando de 11 a 14 anos.

Tabela 1. Cidades utilizadas no estudo, localização geográfica das estações meteorológicas e período de dados utilizado.

cidades	latitude	longitude	altitude	período
1 - Araguaína	-7,1	-48,2	231	2007 - 2018
2 - Palmas	-10,2	-48,3	292	2004 - 2018
3 - Pedro Afonso	-8,9	-48,2	190	2007 - 2018
4 - Peixe	-12	-48,5	251	2007 - 2018

Fonte: Própria (2020).

Segundo a Tabela 2, nas cidades avaliadas, a radiação global média anual oscilou de 17,03 a 20,28 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, com a transmissividade oscilando entre 48 e 58%, a insolação de 6,30 a 7,57 horas de luz solar que resultou em 53 e 64% em radiação acima dos 120 W m<sup>-2</sup> (WMO, 2014) e temperatura de 25,62 a 17,35 °C e umidade relativa de 61,93 a 75,69%. Quando a radiação atravessa a atmosfera acaba interagindo com elementos atmosféricos (vapor d'água, aerossóis e partículas sólidas) o que acaba dispersando os raios solares (radiação difusa) (Souza et al. 2016) o que interfere diretamente na radiação que chega no superfície da terra (radiação global) onde Asilevi et al. (2019) para Gana na região de Savana a transmissividade foi de 59% e na floresta 48%.

Tabela 2. A média da Radiação global (Qg), transmissividade atmosférica (kt), insolação (n), razão de insolação (RI), temperatura média (Tmed) e umidade relativa média (URmed) para as cidades no estado de Tocantins.

cidades	Qg	kt	n	n/N	Tmed	URmed
Araguaina	18,64	0,53	6,30	0,53	25,68	75,69
Palmas	17,03	0,48	7,02	0,59	27,35	61,93
Pedro Afonso	19,26	0,54	6,91	0,58	26,79	71,86
Peixe	20,28	0,58	7,57	0,64	26,62	67,39

Fonte: Própria (2020).

O modelo de Angström-Prescott (Equação 1) estima a radiação global ( $Q_g$ ) com base na radiação extraterrestre ( $Q_o$ ), insolação ( $n$ ), fotoperíodo ( $N$ ) e os coeficientes linear ( $a$ ) e angular ( $b$ ) que são ajustados para o local se deseja utilizar o modelo. Para o cálculo da transmissividade atmosférica ( $kt$ ) empregou-se a Equação 2 e a razão de insolação ( $RI$ ) a Equação 3.

$$\frac{Q_g}{Q_o} = a + b \left( \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

$$kt = \frac{Q_g}{Q_o} \quad (2)$$

$$RI = \frac{n}{N} \quad (3)$$

Onde:  $Q_g$  ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ).

Para o cálculo da  $Q_o$  e  $N$  foram utilizadas as equações propostas por Allen et al. (1998), com constante solar ( $G_{sc}$ ), ângulo horário ( $ws$ ), latitude ( $\varnothing$ ), declinação da terra ( $\delta$ ), dia juliano ( $DJ$ ) e distância relativa terra-sol ( $dr$ ) que estão descritos nas Equações 4, 5, 6, 7 e 8.

$$Q_o = 37,59 * dr \left( \frac{ws * 3,14}{180} * \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \sin \left( \frac{ws * 3,14}{180} \right) \right) \quad (4)$$

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \varnothing * \tan \delta) \quad (5)$$

$$ws = \cos^{-1}(-\tan \varnothing * \tan \delta) \quad (6)$$

$$\delta = 23,45 * \sin \left( \frac{360}{365} * (DJ - 80) \right) \quad (7)$$

$$dr = 1 + 0,033 * \cos \left( \frac{360}{365} * DJ \right) \quad (8)$$

Onde:  $Q_o$  ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $n$  (horas),  $N$  (horas),  $G_{sc}$  ( $1365 \text{ W m}^{-2}$ ),  $\varnothing$  ( $^\circ$ ),  $\delta$  ( $^\circ$ ) e  $ws$  ( $^\circ$ ).

A fim de evitar a utilização de dados meteorológicos inconsistentes na geração dos coeficientes do modelo, dias com a  $kt$  acima de 85%, radiação ausente entre as 10 e 14 horas,  $RI$  maior que um e menor que zero e temperatura média ausente foram eliminados da base de dados para a geração dos coeficientes e validação dos modelos.

Posteriormente ao filtro realizado, foram separados 70% da base de dados para a geração dos coeficientes (a e b) e 30% para a validação (MBE, RMSE e d). Os índices estatísticos utilizados na validação do modelo de Angström-Prescott foi o erro relativo médio (MBE), raiz quadrado de erro relativo (RMSE) e índice de concordância de Willmott (d) representadas nas equações 9, 10 e 11.

$$MBE = \frac{(ES-ME)^2}{N} \quad (9)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (ES-ME)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (ES-ME)^2}{\sum_{i=1}^N (|ES-ME| + |ME-MED|)^2} \right] \quad (11)$$

Onde: radiação global estimada pelo modelo de Angström-Prescott (ES, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), radiação medida pela estação meteorológica (ME, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), número de observações (N), média da radiação medida (MED, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), MBE (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e RMSE (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>).

Os coeficientes da equação de Angström-Prescott representam as características físicas da atmosfera, onde o coeficiente linear (a) é a transmissividade mínima e a soma dos coeficientes (a + b) é a transmissividade máxima (Souza et al. 2016) representado em porcentagem nas equações 12 e 13.

$$tmin = (a) * 100 \quad (12)$$

$$tmax = (a + b) * 100 \quad (13)$$

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 3 está descrito o coeficiente linear e angular do modelo de Angström-Prescott para as cidades estudadas, sendo para Araguaína o modelo com os coeficientes é o  $Qg/Qo = 0,2722 + 0,4799 (n/N)$ , para Palmas  $Qg/Qo = 0,2291 + 0,4392 (n/N)$ , Pedro Afonso  $Qg/Qo = 0,2763 + 0,4641 (n/N)$  e Peixe de  $Qg/Qo = 0,3074 + 0,4295 (n/N)$  onde para todas as cidades o coeficiente de determinação foi acima de 0,83.

Na literatura não foi encontrado trabalhos que ajustaram os coeficientes para Tocantins, porém em estados vizinhos como a Bahia nas cidades de Ilhéus, Ondina, Salvador, São Francisco do Conde, São Gonçalo dos Campos, Paratinga e Barra em trabalho Mota et al.

(1977) encontraram 0,30, 0,31, 0,30, 0,29, 0,30, 0,31 e 0,30 nos coeficientes linear (a) e 0,42, 0,41, 0,42, 0,43, 0,42, 0,41 e 0,41 nos coeficientes angular (b) e Pavão et al. (2018) para a cidade de Sinop em Mato Grosso encontraram 0,33 (a) e 0,48 (b). Para Rio Branco, Macapá, Manaus e Sinop que são cidades inseridas na Amazônia brasileira Souza et al. (2019) encontraram o coeficiente (a) de 0,28, 0,24, 0,23, 0,30 e coeficiente (b) de 0,44, 0,52, 0,49 e 0,44 respectivamente. O menor valor de transmissividade mínima (tmin) e transmissividade máxima (tmax) segundo o modelo foi obtido na cidade de Palmas (23 e 67%) que geralmente perto de grandes centros urbanos é em função da presença fuligem de poluição interferindo nas condições atmosféricas (Souza et al. 2016), corroborando com Asilevi et al. (2019) que encontraram uma maior transmissividade em regiões com baixa precipitação em função da baixa presença de nuvens.

Tabela 3. Coeficientes linear (a) e angular (b) do modelo de Angström-Prescott ajustado para cidades do estado de Tocantins.

cidades	a	b	R <sup>2</sup>	tmin	tmax
Araguaína	0,2722	0,4799	0,83	27%	75%
Palmas	0,2291	0,4392	0,85	23%	67%
Pedro Afonso	0,2763	0,4641	0,84	28%	74%
Peixe	0,3074	0,4295	0,86	31%	74%

Fonte: Própria (2020).

Na Tabela 4 os indicadores estatísticos indicam que houve uma superestimava no erro relativo médio (MBE) de 0,02 a 0,06 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, espelhamento com a raiz quadrada do erro relativo (RMSE) de 1,59 a 1,87 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> e índice de concordância de Willmott de 0,95 a 0,96. Os resultados indicam pouca diferença nos índices entre as cidades e um bom desempenho dos modelos (Tabela 4) comparado aos resultados encontrados por Souza et al. (2016), Asilevi et al. (2019), Liu et al. (2012) e Pavão et al. (2018).

Segundo Souza et al. (2016) os maiores erros na estimativa da radiação global foram encontrados em condições de céu com alta nebulosidade (baixo kt), o que segundo o WMO (2014) radiação abaixo de 120 W m<sup>-2</sup> não a insolação, com apenas radiação difusa que é mais presente em condições de alta nebulosidade, sendo essa condição de baixa radiação (abaixo de 120 W m<sup>-2</sup>) não calibrada pelo modelo, sendo que para Tocantins a insolação média está acima de 6,30 horas o que justifica valores de erros e espalhamentos baixos e índices concordância alto em todos os municípios avaliados.



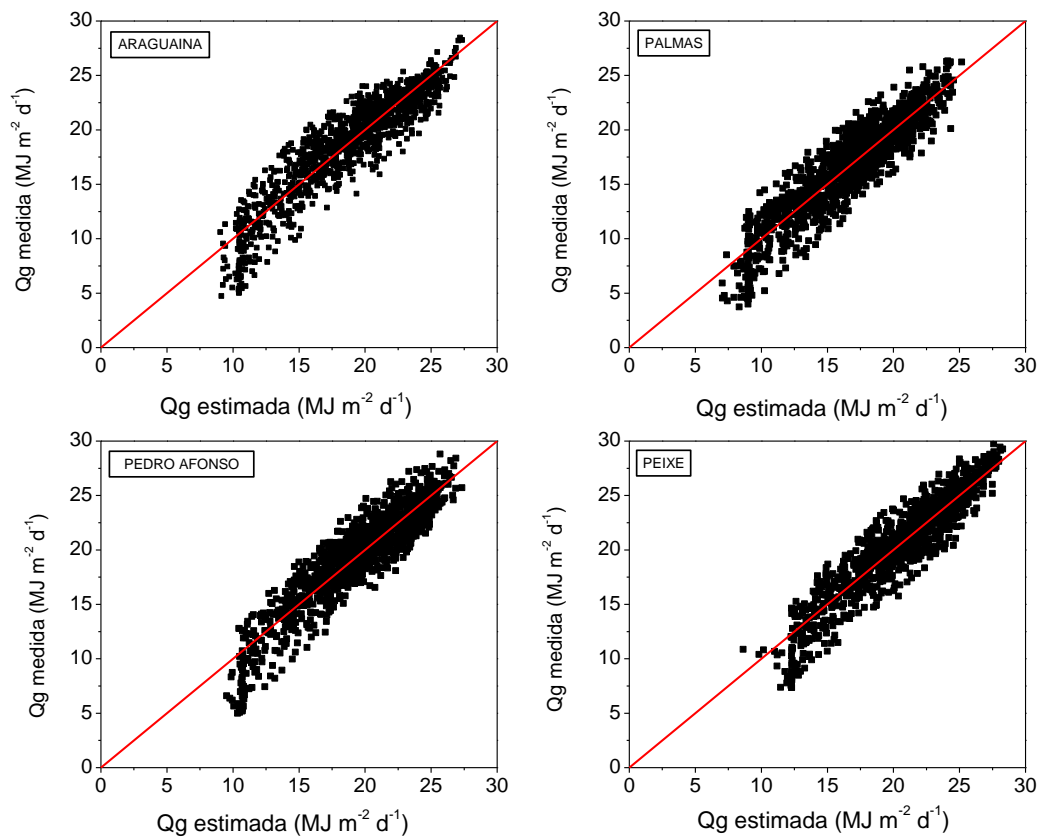
Tabela 4. Validação dos modelos de Angström-Prescott para cidades do estado de Tocantins.

idades	MBE ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	RMSE ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ )	d
Araguaína	0,02	1,87	0,95
Palmas	0,06	1,65	0,95
Pedro Afonso	0,01	1,73	0,95
Peixe	0,06	1,59	0,96

Fonte: Própria (2020)

Na Figura 2 a radiação medida pelas estações meteorológicas do INMET e a estimada pelo modelo de Angström-Prescott apresentou correlação de 92, 91, 91 e 93% para as cidades de Araguaína, Palmas, Pedro Afonso e Peixe respectivamente onde no geral ficaram acima dos 90% que indica que o modelo pode ser utilizado pois a uma boa correlação entre a insolação e a radiação global.

Figura 2. Relação entre a radiação global medida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) versus a estimada pelo modelo de Angström-Prescott ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) para cidades do estado de Tocantins.

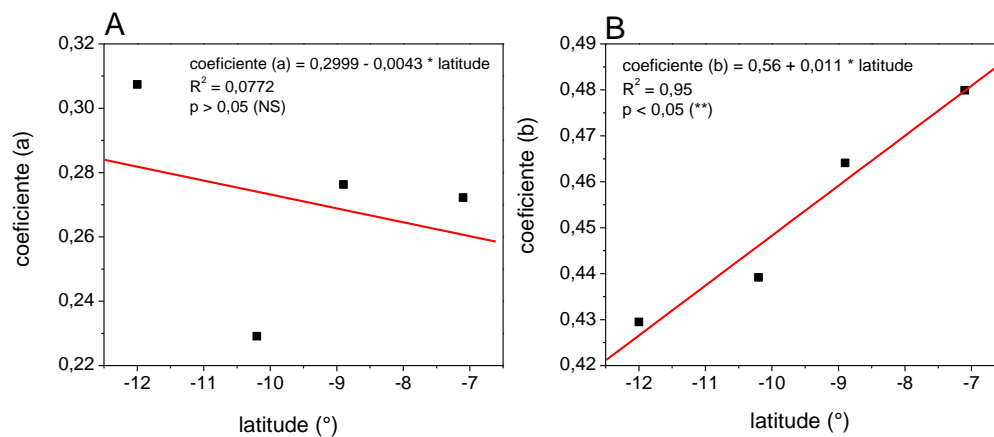


Fonte: Própria (2020).

Na Figura 3 os coeficientes do modelo de Angström-Prescott apresentam uma correlação com a latitude uma vez que, quanto maior o distanciamento da linha do equador maior é a variação da radiação solar, onde para Tocantins a correlação entre coeficiente (a) e a latitude não foi significativa, porém a uma tendência crescente (Figura 3A) e a correlação entre o coeficiente (b) e a latitude foi significativa a 5% com a diminuição do coeficiente a medida que a latitude aumenta.

Para a Amazônia brasileira Souza et al. (2019) encontraram correlação significativa entre os coeficientes (a e b) e a latitude, para o nordeste brasileiro Souza et al. (2016) encontraram a dependência entre as coordenadas geográficas, altitude e microclima.

Figura 3. Relação entre o coeficiente linear (Figura A) e coeficiente angular (B) do coeficiente de Angström-Prescott em diferentes latitudes para Tocantins.



Fonte: Própria (2020), não significativo (NS), significativo a 5% de probabilidade (\*\*)

#### 4. Considerações Finais

Nas cidades avaliadas para o estado de Tocantins os coeficientes (a e b) do modelo de Angstrom-Prescott para Araguaína foi 0,2722 e 0,4799, Palmas foi 0,2291 e 0,4392, Pedro Afonso foi 0,2763 e 0,4641 e Peixe 0,3074 e 0,4295 para a estimativa da radiação global com correlação acima de 90%.

O erro relativo médio (MBE) ficaram entre 0,01 a 0,06 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> com espalhamento de (RMSE) de 1,59 a 1,87 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> e coeficiente Willmott (d) de 0,95 a 0,96.

A radiação global medida pelas estações meteorológicas em relação a estimada pelo modelo de Angström-Prescott apresentaram uma correlação acima de 90%.

A uma relação entre os coeficientes ajustados nas diferentes latitudes do estado de Tocantins, porém condições micrometeorológicas relacionado a transmissividade atmosférica acarreta na mudança dos coeficientes.

Em trabalhos futuros para Tocantins, recomenda-se ajustar o modelo de Angström- Prescott nos agrupamentos mensais (janeiro a dezembro) e sazonais (primavera, verão, outono e inverno).

### **Agradecimentos**

Ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado do primeiro autor (código de financiamento 001) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos.

### **Referências**

Allen RG, Pereira LS, Raes, D & Smith M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome, Italy. 300 p. Recuperado em 15 de março, 2020, de <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>.

Almorox J, Arnaldo JA, Bailek N, Martí P. (2020). Adjustment of the Angstrom- Prescott equation from Campbell-Stokes and Kipp-Zonen sunshine measures at different timescales in Spain. *Renewable Energy*, 154, 337-50.

Angstrom A. (1924). Solar and Terrestrial Radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, 121-26.

Asilevi PJ, Quansah E, Amekudzi LK, Annor T & Klutse NAB. (2019). Modeling the spatial distribution of Global Solar Radiation (GSR) over Ghana using the Angström- Prescott sunshine duration model. *Scientific African*, 4.

Bortolon ESO, Souza JP, Bortolon L, Evangelista BA & Donagemma GK. (2016). Caracterização climática da região de Pedro Afonso-TO no período de 1985 a 2014. *Embrapa Pesca e Aquicultura*, Palmas, TO. Recuperado em 15 de março, 2020, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151623/1/CNPASA-2016-doc25.pdf>.

IBGE. (2019). Censo agropecuário: resultados definitivos 2017. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recuperado em 10 de março, 2020, de [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_to.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_to.pdf) >.

Liu X, Xu Y, Zhong X, Zhang W, Porter JR, Liu W. (2012) Assessing models for parameters of the Angström-Prescott formula in China. *Applied Energy*, 96, 327-38.

Mota FS, Beirsdorf MIC, Acosta MJC. (1977). Estimates of solar radiation in Brazil. *Agricultural Meteorology*, 18 (4), 241-54.

Prescott J. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-8.

Pavão VM, Biudes MS, Querino CAS, Machado NG, Pavão LL & Silva PCBS. (2018). Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23 (14), 1-17.

Souza AP, Martim CC, Joseph W, Bouvié L & Borella DR. (2019). Equação de angström-prescott na estimativa da radiação global em diferentes latitudes da amazônia. *Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*.

Souza JL, Lyra GB, Santos CM, Junior RAF, Tiba C, Lyra GB & Lemes MAM. (2016). Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 35-45.

WMO. (2014). Guide to meteorological instruments and methods of observation. Organização Mundial de Meteorologia, 1177 p. Recuperado em 15 de março, 2020, de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10179](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10179).

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Charles Campoe Martim – 40%

José de Souza Nogueira – 20%

Luiz Eduardo Barros Guia – 20%

Leone Francisco Amorin Curado – 20%