

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESTIMATIVAS SIMPLIFICADAS DA RADIAÇÃO GLOBAL NA
AMAZÔNIA**

CHARLES CAMPOE MARTIM

PROF. DR. ADILSON PACHECO DE SOUZA
ORIENTADOR

Cuiabá - MT

Março de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESTIMATIVAS SIMPLIFICADAS DA RADIAÇÃO GLOBAL NA
AMAZÔNIA**

CHARLES CAMPOE MARTIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

PROF. DR. ADILSON PACHECO DE SOUZA
ORIENTADOR

Cuiabá - MT

Março de 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C198e Campoe Martim, Charles.
ESTIMATIVAS SIMPLIFICADAS DA RADIAÇÃO
GLOBAL NA AMAZÔNIA / Charles Campoe Martim. -- 2020
87 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Adilson Pacheco de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Angström-Prescott. 2. Bristow-Campbell. 3. modelo
simplificado. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

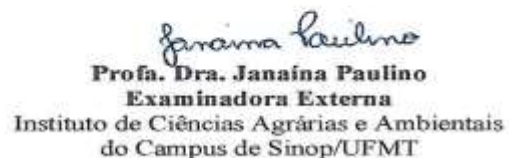
**TÍTULO: ESTIMATIVAS SIMPLIFICADAS DA RADIAÇÃO GLOBAL NA
AMAZÔNIA**

AUTOR: CHARLES CAMPOE MARTIM

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2020, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Adilson Pacheco de Souza
Orientador

Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais
do Campus de Sinop/UFMT


Profa. Dra. Janaina Paulino
Examinadora Externa
Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais
do Campus de Sinop/UFMT


Profa. Dra. Laurimar Gonçalves Vendrusculo
Examinadora Externa
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA

DIDECATÓRIA

Aos meus pais Santo
Pigosso Martim e Rosilene
Campoe Martim.

AGRADECIMENTOS

- Ao professor Dr. Adilson Pacheco de Souza pela amizade, conhecimento e confiança a mim concedido e na orientação desta dissertação.
- Aos integrantes do Grupo de Pesquisa Interações Ambiente e Planta pela amizade.
- A professora Dra. Janaina Paulino e pesquisadora Dra. Laurimar Goncalves Vendrusculo pelas contribuições neste trabalho.
- A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Física Ambiental em especial ao Professor Dr. José de Souza Nogueira.
- Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental pela amizade no decorrer do Mestrado.
- Aos Técnicos Soilce e Cesário pelo trabalho que realizam no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental
- Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos.
- A CAPES pela concessão da bolsa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SIMBOLOS.....	10
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 PROBLEMÁTICA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 HIPÓTESE.....	16
1.4 OBJETIVO GERAL	16
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 BIOMA AMAZÔNICO	18
2.2 RADIAÇÃO SOLAR	19
2.3 MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR	20
2.3.1 MODELO DE ANGSTRÖM-PRESCOTT.....	20
2.3.2 MODELO DE BRISTOW & CAMPBELL	27
2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
3.0 CAPÍTULO II – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA INSOLAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	39
3.1 RESUMO	39
3.2 ABSTRACT	39
3.3 INTRODUÇÃO	40
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
3.6 CONCLUSÕES	56
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
4.0 CAPÍTULO III – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA AMPLITUDE TÉRMICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	60
4.1 RESUMO	60
4.2 ABSTRACT	60
4.3 INTRODUÇÃO	61
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	63
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.6 CONCLUSÕES	84
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
Figura 1. Insolação anual no Brasil para o período de dados de 1981 a 2010. (Extraído e Adaptado do INMET, 2019).	22
Figura 2. Representação do modelo de Bristow & Campbell no aumento da amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$) em relação a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o).....	29
Figura 3. Temperatura máxima anual (Figura A) e temperatura mínima anual (Figura B) para o Brasil de 1981 a 2010 (Extraído e Adaptado do INMET, 2019).....	29
Figura 4. Distribuição de localidades com calibrações regionais do modelo de Bristow & Campbell no Brasil (Extraído e Adaptado de Ramos et al. (2018) (A) e Bender & Sentelhas (2018) (B)).	32
CAPÍTULO II – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA INSOLAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	39
Figura 5. Localização das estações meteorológicas estudadas inseridas na Amazônia brasileira. (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1993).	43
Figura 6. Médias mensais diárias (desvio padrão) da radiação global(A), insolação (B), temperatura do ar (C) e umidade relativa do ar e precipitação (D), de 20 estações meteorológicas situadas na Amazônia brasileira.	45
Figura 7. Calibração do modelo de Angstrom-Prescott no agrupamento total para cidades inseridas na Amazônia brasileira.	48
CAPÍTULO III – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA AMPLITUDE TÉRMICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	60
Figura 8. Localização das estações meteorológicas estudadas inseridas no bioma amazônico brasileiro. (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1993).....	64
Figura 9. Média mensal e desvio padrão da Radiação global (A), temperatura máxima e mínima (B), amplitude térmica (C) e umidade relativa e precipitação (D) de 71 estações meteorológicas da Amazônia brasileira.	67
Figura 10. Calibração do modelo de Bristow & Campbell no agrupamento total para cidades inseridas na Amazônia brasileira.	69
Figura 11. Modelo de Bristow & Campbell ajustado para a cidade de Tucuruí e Presidente Figueiredo na estação seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca e anual.....	75
Figura 12. Modelo de Bristow & Campbell calibrado por Chen et al. (2004) para a China nas cidades de Chongqing, Xian, Geer e Heihe (Extraído e Adaptado de Chen et al. (2004)).	76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
Tabela 1. Modelos de estimativa da radiação global baseados na insolação e temperatura utilizados no estudo de Chen et al. (2004).	25
Tabela 2. Coeficientes de Angström-Prescott obtidos para algumas localidades no Brasil e em outros países.	26
Tabela 3. Coeficientes da equação de Bristow & Campbell, obtido para localidades do Brasil e em outros países.	31
CAPÍTULO II – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA INSOLAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	39
Tabela 4. Estações meteorológicas automáticas inseridas na Amazônia brasileira.....	44
Tabela 5. Coeficiente linear (a) e angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) do modelo de Angstrom-Prescott ajustados nos agrupamentos sazonal (seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca) e anual para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.	50
Tabela 6. Erro relativo médio (MBE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-Prescott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.	52
Tabela 7. Raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-Prescott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira. ..	54
Tabela 8. Índice de concordância de Willmott (d) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-Prescott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira. ..	55
CAPÍTULO III – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA AMPLITUDE TÉRMICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	60
Tabela 9. Estações meteorológicas automáticas inseridas na Amazônia brasileira.....	65
Tabela 10. Coeficientes do modelo de Bristow & Campbell ajustados nos agrupamentos anual para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.	71
Tabela 11. Coeficientes (a, b e c) e coeficiente de determinação (R^2) do modelo de Bristow & Campbell ajustados nos agrupamentos, sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca) para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.	73
Tabela 12. Erro relativo médio (MBE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.....	77
Tabela 13. Raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.	79
Tabela 14. Índice de concordância de Wilmott (d) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.	81

LISTA DE SIMBOLOS

- Q_g – radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- N – fotoperíodo (horas)
- n – insolação (horas)
- δ – declinação solar ($^\circ$)
- Q_o – radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- MBE – erro relativo médio ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- RMSE – raiz quadrada do erro relativo médio ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- d – índice de concordância de Willmott
- R^2 – coeficiente de determinação
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- ΔT – $T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}$ ($^\circ\text{C}$)
- $T_{\text{máx}}$ – temperatura máxima ($^\circ\text{C}$)
- $T_{\text{mín}}$ – temperatura mínima ($^\circ\text{C}$)
- T – temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)
- K – kelvin
- E – emissividade (W m^{-2})
- ϵ – emissividade de um corpo (W m^{-2})
- σ – constante de Stefan-Boltzmann ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$)
- d_r – distância relativa terra-sol
- H_o – ângulo horário ($^\circ$)
- π – pi
- \varnothing – latitude ($^\circ$)
- R_n – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- BOC – balanço de energia em ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- BOL – balanço de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)
- LE – calor latente (W m^{-2})
- H – calor sensível (W m^{-2})
- G – fluxo de calor no solo (W m^{-2})
- a, b e c – constantes dos modelos
- EXP – exponencial

UR – umidade relativa (%)

SADMET – Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos

t – agrupamento de dados total

a – agrupamento de dados anual

s – agrupamento de dados sazonal

Pi – valor estimado ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Oi – valor medido ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

O – média dos valores medidos ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

Lat – latitude (°)

Lon – longitude (°)

Alt – altitude (metros)

TD – total de dados

PF – dados faltosos

sen – seno

cos – cosseno

DJ – dia juliano

tan – tangente

RESUMO

MARTIM, C. C. ESTIMATIVAS SIMPLIFICADAS DA RADIAÇÃO GLOBAL NA AMAZÔNIA. 87 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

A Amazônia brasileira ocupa uma grande faixa territorial e apresenta elevada diversidade de fauna e flora associadas a abundância de chuvas e radiação solar. Todavia, em função de acesso e dimensões, existe uma carência em informações de elementos meteorológicos para aplicações em pesquisas nas áreas ambientais, urbanas e suas interações. Dentre as diferentes formas alternativas de obtenção de dados meteorológicos, o uso de modelos simplificados baseados em medidas de outros elementos, pode propiciar a geração de séries de dados contínuas e longas, permitindo assim, melhor entendimento quanto as variabilidades espaciais e temporais, especialmente da radiação solar. Os modelos empíricos de Angström-Prescott (que relaciona linearmente a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) com a razão de insolação (n/N)) e o modelo de Bristow & Campbell (que relaciona exponencialmente a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) pela amplitude térmica diária ($T_{máx} - T_{mín}$)) são amplamente os mais conhecidos e aplicados em diferentes contextos climáticos. O objetivo deste trabalho foi calibrar e validar os modelos de Angström-Prescott e Bristow & Campbell, em diferentes agrupamentos de dados (total, anual e sazonal) para estações meteorológicas convencionais (EMC's) distribuídas no bioma amazônico brasileiro. Foram selecionadas 20 e 71 EMC's com dados de insolação (n) e de dados de temperatura do ar, respectivamente. Os agrupamentos de dados considerados foram: total (todos os dados) e local (cada EMC individualizada); sendo estes subdivididos em quatro agrupamentos sazonais: seca (junho a agosto), seca-chuva (setembro a novembro), chuva (dezembro a fevereiro) e chuva-seca (março a maio). Em todos esses agrupamentos foram selecionados 70 e 30% dos dados para calibração dos coeficientes parametrizados dos modelos e validações de desempenho estatístico, respectivamente. Empregou-se os indicativos estatísticos do erro relativo médio (MBE), raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) e índice de concordância de Willmott (d). O modelo de Angström-Prescott na estimativa da radiação mostrou que a interação do modelo anual foi o que apresentou melhor desempenho estatístico, com desvios relativos (MBE) variando de -0,13 a 0,11 $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$, espalhamentos (RMSE) de 1,13 a 2,14 $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ e ajustamentos de 0,88 a 0,98, nesses casos, os coeficientes lineares calibrados (a) apresentaram uma variação de 0,2251 a 0,3561, enquanto os coeficientes angulares (b) oscilaram de 0,3452 a 0,5277 em todos os casos os coeficientes de correlação foram superiores a 0,80. O modelo de Bristow & Campbell na estimativa da radiação mostrou que a interação do modelo anual foi o que apresentou melhor desempenho estatístico, com desvios relativos (BEM) variando de variando de -0,35 a 0,27 $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$, espalhamento (RMSE) de 2,22 a 7,43 $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ e ajustamento de 0,43 a 0,93; nesse caso, os coeficientes calibrados (a) apresentaram variação de 0,41 a 0,90, os coeficientes (c) de 0,009 a 0,057, coeficientes (c) de 1,37 a 2,81 e correlação acima de 0,44. Os modelos de Angström-Prescott e Bristow & Campbell podem ser utilizados na estimativa da radiação global para a região Amazônica do Brasil, com os coeficientes calibrados anualmente por EMC, não sendo recomendado o emprego de coeficientes unificados para todo o bioma, independente do modelo.

Palavras-chave: Angström-Prescott, Bristow-Campbell, modelo simplificado.

ABSTRACT

MARTIM, C. C. SIMPLIFIED ESTIMATES OF GLOBAL RADIATION IN THE AMAZON. 87 f. Dissertation (Master's Degree in Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

The Brazilian Amazon occupies a large territorial strip and presents a high diversity of fauna and flora associated with the abundance of rain and solar radiation. However, due to access and dimensions, there is a lack of information on meteorological elements for applications in research in the environmental, urban areas and their interactions. Among the different alternative ways of obtaining meteorological data, the use of simplified models based on measurements of other elements, can provide the generation of continuous and long data series, thus allowing a better understanding of spatial and temporal variability, especially of radiation solar. The Angström-Prezcott empirical models (which linearly correlates atmospheric transmissivity (Q_g/Q_0) with the insolation ratio (n / N)) and the Bristow & Campbell model (which exponentially relates atmospheric transmissivity (Q_g/Q_0) by daily thermal amplitude ($T_{max} - T_{min}$)) are widely known and applied in different climatic contexts. The objective of this work was to calibrate and validate the Angström-Prezcott and Bristow & Campbell models, in different data groups (total, annual and seasonal) for conventional meteorological stations (EMC's) distributed in the Brazilian Amazon biome. Twenty and 71 EMC's were selected with sunshine data (n) and air temperature data, respectively. The data groupings considered were: total (all data) and location (each individualized EMC); these being subdivided into four seasonal groupings: drought (June to August), dry rain (September to November), rain (December to February) and dry rain (March to May). In all these groups, 70 and 30% of the data were selected for calibration of the parameterized coefficients of the models and validations of statistical performance, respectively. The statistical indicative of the mean relative error (MBE), the square root of the mean relative error (RMSE) and Willmott's agreement index (d) were used. The Angström-Prezcott model in the radiation estimate showed that the interaction of the annual model was the one that showed the best statistical performance, with relative deviations (MBE) ranging from -0.13 to 0.11 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, scatter (RMSE) from 1.13 to 2.14 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and adjustments from 0.88 to 0.98, in these cases, the calibrated linear coefficients (a) varied from 0.2251 to 0.3561, while the angular coefficients (b) ranged from 0.3452 to 0.5277 in all cases the correlation coefficients were greater than 0.80. The Bristow & Campbell model in estimating radiation showed that the interaction of the annual model was the one that showed the best statistical performance, with relative deviations (MBE) ranging from -0.35 to 0.27 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, spreading (RMSE) from 2.22 to 7.43 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ and adjustment from 0.43 to 0.93; in this case, the calibrated coefficients (a) varied from 0.41 to 0.90, the coefficients (c) from 0.009 to 0.057, coefficients (c) from 1.37 to 2.81 and the correlation above 0.44. The Angström-Prezcott and Bristow & Campbell models can be used to estimate global radiation for the Amazon region of Brazil, with the coefficients calibrated annually by EMC, and the use of unified coefficients for the entire biome is not recommended, regardless of the model.

Keywords: Angström-Prezcott, Bristow-Campbell, simplified model.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

O bioma amazônico representa 49% do território nacional (IBGE, 2012) e boa parte da sua extensão ainda é desconhecida em termos de pesquisas científicas, sendo que em muitos casos, os estudos são pontuais e as conclusões são generalizadas para a região. A precipitação aliada à radiação solar incidente na Amazônia, apresenta aplicações em diversas áreas como meteorologia, engenharia civil, ciências ambientais e ciências agrárias, propiciando condições para o desenvolvimento da biodiversidade, agricultura, pecuária e energias renováveis, dentre outras atividades.

Especificamente para a radiação solar, esforços vêm sendo realizados para o estabelecimento de uma rede solarimétrica no país, com medidas de superfície para as mais variadas aplicações, visto que a radiação global, é a principal variável de entrada em modelos matemáticos que descrevem o crescimento de plantas, as variações de temperatura do ar, uso e ocupação do solo, albedo, balanço de radiação e energia, componentes do ciclo hidrológico (evapotranspiração), dentre outros (SALAZAR et al., 2015).

A radiação global apresenta alta variabilidade espacial e temporal, podendo ser obtida por medidas diretas com sensores automatizados ou convencionais, associados a sistemas de aquisição de dados ou de registros mecânicos, ou ainda, obtida por estimativas indiretas com base em outros elementos meteorológicos ou sensoriamento remoto.

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) vinculado ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), é o órgão governamental que responsável pelas medições meteorológicas de rotina. A rede de estações meteorológicas de superfície do INMET, é dividida em estações meteorológicas automáticas (EMA's) e convencionais (EMC's), que foram e se encontram distribuídas em função do acesso e da representatividade nos diferentes biomas brasileiros. Nas estações convencionais, poucos são os registros de medidas diretas da radiação global por meio de actinôgrafos. Em geral, as variáveis monitoradas de rotina nas EMC's e que permitiam a obtenção da radiação global eram a insolação (n) e a temperatura do ar; enquanto, nas EMA's, as medidas da radiação global ocorrem por meio de piranômetros.

Ressalta-se que, em geral, principalmente na Amazônia, as bases de dados disponíveis de EMA's são recentes (a partir de 2000) e, em poucos casos, são próximas

de EMC's, perfazendo em uma grande defasagem espacial e temporal de dados, visto que poucas regiões do bioma, apresentam-se cobertas por estações meteorológicas com bases de dados superiores a 30 anos (normal climatológica), e as que possuem, geralmente estão inseridas em de grandes centros urbanos ou seus entornos.

Em inúmeras aplicações como avaliações de potencias energéticos, de modelagens hidrológicas e ambientais, dentre outros, são importantes e necessários, a utilização de bases de dados com longa duração e sequenciais (com baixo percentual de falhas). Nesse contexto, apesar de atualmente, as redes de estações meteorológicas de institutos de pesquisa (públicos e/ou particulares) e universidades, priorizarem o uso de EMA's, ainda são necessários, a utilização de dados provenientes de EMC's, incluindo a radiação solar.

A obtenção da radiação solar por modelos matemáticos pode ser considerada como uma boa ferramenta na ausência de dados disponíveis no local de interesse, principalmente quando baseada em outros elementos meteorológicos medidos in-loco. Em geral, os modelos variam em grau de complexidade e número de coeficientes que demandam calibrações regionais para melhoria dos desempenhos estatísticos das estimativas.

Os fatores que influenciam na quantidade de radiação solar que atinge a superfície terrestre e que normalmente são utilizadas como base nos modelos empíricos são os fatores geográficos (latitude, longitude, altitude), fatores astronômicos (constante solar, distância Terra-Sol, declinação solar, ângulo horário), fatores meteorológicos (radiação solar extraterrestre, fotoperíodo, temperatura do ar, precipitação, umidade relativa, efeito das nuvens, evaporação, etc), fatores geométricos (azimute terrestre, ângulo de elevação solar, ângulo do azimute solar), e fatores físicos (dispersão das moléculas de ar, conteúdo de vapor de água na atmosfera, dispersão de poeira e outros constituintes atmosféricos como O₂, CO₂, N₂, dentre outros) (TANAKA, 2014).

1.2 JUSTIFICATIVA

Em função da necessidade de se obter a radiação global através de variáveis correlatas (insolação e temperatura), modelos empíricos simplificados foram avaliados em diversas publicações científicas ao longo das últimas décadas. O modelo precursor de Angström- Prescott, que utiliza a insolação (n) como variável de entrada, necessita de

calibração regional para melhoria de suas estimativas, porém poucos trabalhos foram desenvolvidos para as condições brasileiras, especialmente no bioma amazônico. Outro modelo importante [Bristow & Campbell (1984)], que utiliza a amplitude térmica diária (ΔT) como variável de entrada, e já foi calibrado recentemente para várias regiões do Brasil por Ramos et al. (2018) e Bender & Sentelhas (2018), porém a Amazônia foi a única região do país não contemplada. Em algumas cidades da Amazônia no estado de Mato Grosso foram realizadas calibrações pontuais por Souza et al. (2017), considerando agrupamentos anuais de dados.

Nas mesmas condições ambientais, em regiões próximas, a uma influência direta dos componentes atmosféricas na temperatura em insolação (ANDRISANI et al., 2014) tendem a interferir nos coeficientes ajustados regionalmente, incluindo ainda, as variações decorrentes do período da base de dados, do agrupamento de dados considerado (mensal, sazonal e anual) e da partição temporal avaliada (instantânea, horária e diária).

Em função de sua grande abrangência territorial e de baixa abrangência do bioma Amazônico em trabalhos voltados para estimativas da radiação global em superfície, este trabalho se propõe a realizar as calibrações dos modelos de Angström-Prescott (baseado na insolação) e de Bristow & Campbell (baseado na amplitude térmica), para a Amazônia brasileira.

1.3 HIPÓTESE

Estimativas da radiação global baseadas na insolação apresentam melhores respostas quanto comparadas com estimativas baseadas na amplitude térmica.

Quanto maior for o agrupamento de dados empregado na calibração regional, maior será o erro estatístico associado a estimativa da radiação global.

Ocorre uma elevada variabilidade espacial dos coeficientes calibrados dos modelos empíricos de Angström-Prescott e Bristow & Campbell.

1.4 OBJETIVO GERAL

Calibrar e validar o desempenho estatístico de modelos simplificados de estimativa da radiação global na Amazônia brasileira.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calibrar e validar o modelo de Angström-Prescott (baseado na insolação), para 20 estações meteorológicas inseridas na Amazônia brasileira, considerando o mesmo período de dados obtidos por estações meteorológicas automáticas e convencionais.

Calibrar e validar o modelo de Bristow-Campbell (1984), baseado na amplitude térmica diária, para 71 cidades estações meteorológicas na Amazônia brasileira.

Observar a influência de diferentes agrupamentos de dados nas calibrações regionais dos coeficientes dos modelos supracitados e seus efeitos nas estimativas da radiação global.

2. CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIOMA AMAZÔNICO

O bioma Amazônico brasileiro possui uma área de 4.196.943 km², que compreende 49% do território brasileiro e abrange os estados da Região Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), bem como parte de Mato Grosso e Maranhão, que pertencem a região Centro-Oeste e Nordeste, respectivamente (IBGE, 2012).

Vários estudos vêm demonstrando que o dossel da floresta amazônica é altamente dinâmico e responde a fatores climáticos e antropogênicos, associando os efeitos do desmatamento com a diminuição da precipitação e aumento da temperatura do ar (Anderson et al., 2015; Salazar et al., 2015; Almagro et al., 2017), decorrentes do balanço de radiação e energia. As árvores da floresta Amazônica funcionam como um estoque de carbono, porém com o aumento do desmatamento, esse carbono acaba voltando para a atmosfera. Segundo Chambers et al. (2007) a taxa de fixação do carbono em árvores por meio da fotossíntese é menor quando comparado a taxa de decomposição e liberação do carbono em árvores mortas ou derrubadas, gerando assim um saldo positivo de carbono na atmosfera.

Nos últimos anos, especialmente na transições da Amazônia com Cerrado, têm-se observado uma tendência de mudança no uso e ocupação do solo, com a substituição da floresta por culturas agrícolas comerciais como a soja e milho e pastagens (Zaiatz et al., 2018; Santos et al., 2020; Simões et al., 2020). O uso e ocupação do solo ajudam no entendimento da dinâmica do carbono além de ser uma ferramenta para o estudo da ecologia e ciências atmosféricas, pois os gases emitidos pela queima e que ficam na atmosfera e interagem com a radiação gerando atenuação, absorção e reflexão influenciando no balanço de radiação.

Na Amazônia, a precipitação anual fica acima dos 2200 mm, chegando em algumas regiões a ultrapassar os 3100 mm, com uma grande variabilidade espacial (ALVARES et al., 2013). Por sua vez, embora esteja na zona tropical e próxima a linha do Equador, a radiação incidente na Amazônia é menor quando comparada ao que incide na Caatinga do Nordeste brasileiro (para mesmas latitudes) (Právālie et al., 2019), em função das diferenças na presença de vapor d'água na atmosfera, que por sua vez, interage com a

radiação solar pelos processos de reflexão, difusão e absorção, além de posteriormente, influenciar na emissão de ondas longas (Lei de Stefan-Boltzmann).

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A propagação de energia por radiação, é regida fisicamente, pelas Leis de Planck, Wien e Stefan-Boltzmann, dentre outras, que indicam que qualquer objeto com temperatura acima de 0 K emite radiação, com espectro (comprimentos de onda) e comprimento de onda de máxima emissão dependentes da própria temperatura do objeto. Essas leis modelam a origem da radiação eletromagnética bem como explica fisicamente como se dá a sua condução no espaço e a sua interação com corpos.

No planeta Terra, a radiação solar é a principal fonte de energia para os processos químicos, físicos e biológicos como fotossíntese, circulação das massas de ar, correntes marítimas, derretimento de geleiras, aquecimento do ar, solo e água entre outros.

Após sua passagem pela atmosfera, a radiação solar sofre uma série de interações com os componentes atmosféricos como gases, vapor d'água e aerossóis, resultando em diferentes níveis de radiação que incide na superfície terrestre (denominada de radiação global). Associado a esses processos, o balanço de radiação indica a interação da radiação solar com os elementos presentes na atmosfera e a própria superfície terrestre, pelas relações entre entrada e saída de radiação em diferentes comprimentos de onda (curtas e longas). A radiação líquida disponível (R_n) no ambiente ou saldo de radiação, portanto, passa a ser utilizada em vários processos físicos como calor latente (LE), calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G).

O balanço de energia aplica o princípio da conservação da energia, no qual a energia que entra em um sistema é igual a energia que sai desse sistema. A evaporação da água requer bastante energia, em função disso, boa parte do R_n , quando não ocorre restrição hídrica no solo, é utilizado na evapotranspiração na forma de calor latente (LE); já o fluxo de calor no solo (G), é menor quando existe a cobertura por vegetação; e o aquecimento do ar (aumento da temperatura) pelo calor sensível apresenta dependência direta da dinâmica de vapor d'água (ALLEN et al., 1998).

2.3 MODELOS DE ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR

2.3.1 MODELO DE ANGSTRÖM-PRESCOTT

A radiação global é a principal variável que influencia no cálculo da evapotranspiração, projetos de energia fotovoltaica, fotossíntese, evaporação de lagos e rios entre outros (DUZEN & AYDIN 2012) sendo estes, alguns exemplos da importância de se realizar rotineiramente a medida da radiação global.

Quando se analisa de uma forma geral, há um grande número de estações automáticas medindo variáveis meteorológicas simples como temperatura do ar e umidade relativa do ar, e ainda, estações convencionais com medidas de insolação. Em geral, as variações com maiores dificuldades de construções de bases de dados contínuas e longas são radiação solar, ventos e precipitação. Para fins agrícolas e ambientais, destaca-se que a radiação global apresenta elevada demanda em função das mais variadas aplicações, por isso, existe uma necessidade crescente de se conhecer a relação entre a radiação global e as variáveis mais simples (CHEN et al., 2004; DUZEN & AYDIN, 2012), pois o alto custo de aquisição das estações meteorológicas automáticas e a necessidade de calibração rotineira dificultam a sua popularização (DORNELAS et al. 2006). Nesse contexto, os primeiros estudos de estimativas da radiação global, relacionaram por meio de modelos empíricos lineares, polinomiais, exponenciais e potenciais, as variáveis de fácil medição como temperatura e insolação, com a radiação global incidente na horizontal.

Angstrom (1924) publicou um dos primeiros trabalhos na área da modelagem da radiação solar por meio de modelos empíricos, em Estocolmo (Suécia), no qual propôs que a radiação global (Q_g) poderia ser estimada pela radiação no topo da atmosfera em um dia completamente claro (Q_o), considerando os coeficientes (0,25 e 0,75) e a insolação (n) (Equação 1). Todavia, condições de dias com céu claro dificilmente ocorrem, principalmente em zonas tropicais.

$$Q_g = (0,25 + 0,75 n) Q_o \quad (1)$$

A fim de ampliar a utilização do modelo, Prescott (1944) implementou alterações na equação de Angstrom, com abrangência também para dias nublados, sendo esse novo modelo conhecido Angström-Prescott (Equação 2), no qual, a radiação global (Q_g) é

estimada com base em coeficientes (linear e angular) associados a razão de insolação (n/N) e a radiação no topo da atmosfera (Q_0), ou seja, a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_0) para um determinado local é linearmente relacionada a razão de insolação (n/N). Nesse caso, podem ocorrer duas condições extremas: quando (n/N) tende a zero, o coeficiente linear (a) representa a transmissividade mínima; e quando (n/N) tende a 1,0, a soma entre o coeficiente linear e angular (b) indica a transmissividade máxima.

$$Q_g = \left(a + b \frac{n}{N} \right) Q_0 \quad (2)$$

O equipamento utilizado para a medição da insolação (n) é o heliógrafo de Campbell-Stokes, que possui uma esfera de vidro com diâmetro de 10 cm, fixada sobre uma semiesfera oca de metal, sem as laterais metálicas, com três trilhos para inserção de fitas de papel registradoras do tempo de brilho solar direto (heliograma), com intervalos de 0,5 horas. O seu princípio de funcionamento é regido pelas leis da óptica, na qual, a radiação com intensidade superior a 120 W m^{-2} , que incide sobre a esfera de vidro é convergida até o papel milimetrado, causando a sua queima diferenciada em função dos movimentos de rotação (ao longo do dia) e de translação (ao longo do ano) (WMO, 2014).

A insolação (n) é definida como o tempo (em horas) em que a radiação solar foi superior a 120 W m^{-2} (WMO, 2014), sendo diretamente influenciada pela presença de nuvens, gases, vapor de água e aerossóis. No Brasil, ocorre uma elevada variação espacial da insolação, e considerando apenas a Amazônia, as variações são mais notáveis em função da longitude quando comparada com a latitude (entre 1300 e 2200 horas anuais) (Figura 1), em função da posição da floresta e dos deslocamentos de massas de ar equatoriais provenientes do Atlântico.

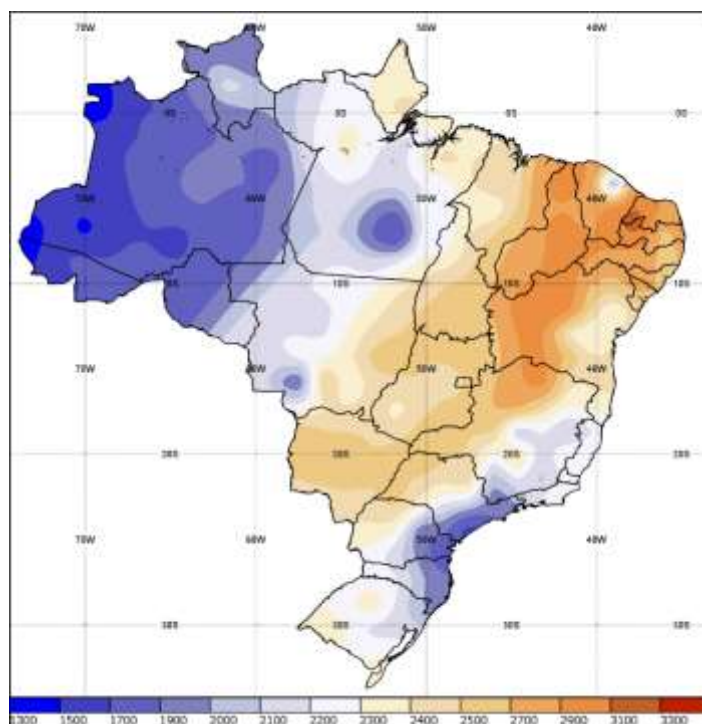


Figura 1. Insolação anual no Brasil para o período de dados de 1981 a 2010. (Extraído e Adaptado do INMET, 2019).

Essa amplitude de insolação, indica que a utilização de modelos de estimativa da radiação global, baseados nesse elemento meteorológico, devem apresentar calibrações regionalizadas, a fim de melhorar a sensibilidade e minimizar os erros nas estimativas.

Trabalhos científicos publicados tanto nacional como internacionalmente abordando o modelo de Angström-Prescott para condições brasileiras são escassos, e quando se avalia na Amazônia, as pesquisas são menores; todavia, em outros países a situação é bem diferente, com trabalhos publicados abrangendo vastas regiões e diversas condições ambientais, facilitando a ampla utilização do modelo de Angström-Prescott e suas derivações descrito na Tabela 2. Nota-se, que para uma mesma região, ocorre uma variação espacial dos coeficientes (a e b), mesmo quando esses são ajustados em condições climáticas semelhantes em função dos componentes atmosféricos (ANDRISANI et al., 2014).

Em geral, o modelo original de Angstron-Prescott (Equação 2), possui um desempenho próximo ou superior a outros modelos modificados derivados do original, como os modelos polinomial de segunda e terceira grau (Equação 3 e 4), exponencial (Equação 5) e logaritmo (Equação 6) (ALL-MOSTAFA et al., 2014).

$$Qg = \left(a + b \left(\frac{n}{N} \right) + c \left(\frac{n}{N} \right)^2 \right) Qo \quad (3)$$

$$Qg = \left(a + b \left(\frac{n}{N} \right) + c \left(\frac{n}{N} \right)^2 + d \left(\frac{n}{N} \right)^3 \right) Qo \quad (4)$$

$$Qg = \left(a + b \text{EXP} \left(\frac{n}{N} \right) \right) Qo \quad (5)$$

$$Qg = \left(a + b \ln \left(\frac{n}{N} \right) \right) Qo \quad (6)$$

All-mostafa et al. (2014) estimou para a cidade de Jouf (Arábia Saudita) a radiação global por 52 modelos matemáticos (linear, segunda ordem, terceira ordem, exponencial e logarítmico) publicados em periódicos para vários países, para avaliar qual apresentava menor erro quando empregados os coeficientes parametrizados para outras regiões, sendo que nesse caso, o modelo linear ($Qg/Qo = 0,26 + 0,45 (n/N)$) apresentou melhores desempenhos estatísticos.

Para sete cidades da Turquia, localizadas no entorno do lago Van, Duxen & Aydin (2012) avaliaram o modelo linear de Angström-Prescott, e suas derivações quadrática, cúbica, logarítmica e exponencial; e por fim, obtiveram bons desempenhos para todos os modelos, com recomendações de uso para a função quadrática e cúbica.

Belúcio et al. (2014) ajustando o coeficiente de Angström-Prescott para Macapá (AP) em agrupamentos de dados mensal, sazonal e anual encontraram diferenças para os coeficientes mensais, sendo que nos meses de junho, agosto e setembro foram obtidos os piores desempenhos estatísticos, e ainda, recomendaram para região os coeficientes anuais de ($Qg/Qo = 0,27 + 0,43 (n/N)$). Buriol et al. (2012) encontraram coeficientes lineares (a) para Santa Maria (RS) maiores em janeiro e menores em julho, e indicaram a este comportamento está relacionado com a radiação difusa, que é maior em janeiro em função da presença de nuvens; enquanto para os coeficientes angulares (b) ocorreu o inverso, com maior transmissividade em junho e menor em janeiro.

Carvalho et al. (2011) calibrou os coeficientes de Angström-Prescott também agrupamentos mensal, anual e geral e avaliou os coeficientes na estimativa da radiação global e no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) para a cidade de Seropédica (RJ), sendo que nesse caso, os coeficientes com melhores desempenhos estatísticos foram obtidos nos agrupamentos mensais, enquanto os efeitos dos coeficientes na ET_o não possibilitaram diferenças significativas quando aplicado a radiação global medida e estimada. Nesse contexto, corroborando com Dornelas et al. (2006) recomenda-se a

utilização dos coeficientes mensais para aplicações na estimativa da ETo, visto que essa componente depende de outras variáveis meteorológicas que acabam por diminuir a influência da radiação global.

Dornelas et al. (2006) utilizaram os coeficientes proposto pela FAO (0,25 e 0,50) e determinaram os coeficientes da equação de Angström-Prescott para Brasília (DF) nos agrupamentos mensal, anual e geral, e avaliaram ainda, os efeitos na estimativa da radiação e da evapotranspiração de referência. Não foram observadas diferenças na estimativa da radiação global e da evapotranspiração de referência para os diferentes métodos utilizados, porém pela simplicidade, recomendaram a utilização para Brasília, de coeficientes gerais de 0,282 e 0,490 (a e b, respectivamente).

Chen et al. (2004) avaliaram dois modelos de estimativa da radiação global (Tabela 1) baseados na insolação com as Equações 7 e 8 e três modelos baseados na temperatura do ar (Tar) com as Equações 9, 10 e 11, além de um modelo híbrido que utiliza tanto a insolação como a temperatura (Equação 12), para 48 estações meteorológicas na China. Avaliando especificamente os desempenhos estatísticos dos modelos (7 e 8) baseados na insolação, as melhores respostas encontradas por esses autores foram do modelo 8, e quando avaliados os modelos dependentes da temperatura do ar, foi o modelo 9. Porém, nas comparações dos modelos 7 a 11, os melhores desempenhos foram obtidos com estimativas baseadas na insolação. Por fim, esses autores ainda observaram que o modelo híbrido (Equação 12) apresentou os melhores desempenhos independentemente da época do ano, da região e do agrupamento de dados.

Liu et al. (2012) ajustaram os coeficientes (a e b) de Angström-Prescott para 80 cidades da China, e compararam com sete modelos já ajustados para vários países considerando a razão de insolação (dois modelos), altitude (um modelo), altitude e razão de insolação (um modelo), altitude, razão de insolação e latitude (um modelo), altitude e latitude (modelo 5) e temperatura média do ar (modelo 6). Os coeficientes de Angström-Prescott variaram de 0,11 a 0,30 (a) e de 0,48 a 0,69 (b). Os modelos da temperatura e altitude apresentaram melhor desempenho na estimativa dos coeficientes, uma vez que foram os únicos calibrados para a China, pois quanto maior a altitude, menor é o coeficiente linear (a) e maior o angular (b).

Tabela 1. Modelos de estimativa da radiação global baseados na insolação e temperatura utilizados no estudo de Chen et al. (2004).

Nº	modelo	Nº	modelo
7	$\frac{Qg}{Qo} = a + b \frac{n}{N}$	10	$\frac{Qg}{Qo} = a (Tmax - Tmin)^{0,5}$
8	$\frac{Qg}{Qo} = a + b \left(\frac{n}{N}\right) + c \left(\frac{n}{N}\right)^2 + d \left(\frac{n}{N}\right)^3$	11	$\frac{Qg}{Qo} = a (Tmax - Tmin)^{0,5} b$
9	$\frac{Qg}{Qo} = a [1 - exp(-b \Delta T^c)]$	12	$\frac{Qg}{Qo} = a ln(Tmax - Tmin) + b \left(\frac{n}{N}\right)^c + d$

Liu et al. (2010) avaliaram para 20 cidades na China localizadas em condições de clima temperado, a influência dos coeficientes do modelo de Angström-PreScott nos agrupamentos mensal, sazonal, semestral e anual (fixo). Os coeficientes (a e b) ajustados variaram bastante, porém quando avaliados pelos índices estatísticos, não houve diferenças entre a radiação medida e estimada pelos coeficientes ajustados nos agrupamentos de dados, permitindo assim, simplificar as que ajuda na escolha da base de dados em futuros trabalhos para esta região e reduz a complexidade dos modelos.

Medeiros et al. (2017) avaliaram para quatro cidades do estado do Rio Grande do Norte, com clima semiárido, em agrupamentos de dados anual e sazonal e verificaram que os coeficientes da equação de Angström-PreScott calibrados sazonalmente foi pouco melhor em desempenho estatístico, porém, a utilização de qualquer um é opcional.

Na Tabela 2 está descrito os coeficientes (a e b) da equação de Angström-PreScott e o coeficiente de determinação (R^2) para cidades brasileiras e em outros países, onde os coeficientes oscilaram consideravelmente analisando as diferentes cidades, como por exemplo no Brasil o coeficiente linear (a) com o valor mínimo de 0,16 em Santa Maria e máximo de 0,39 no Rio Grande do Norte e coeficiente angular (b) mínimo de 0,29 no Rio Grande do Norte e máximo de 0,63 em Santa Maria.

Em geral, recentemente tem ocorrido uma tendência de substituir modelos empíricos por técnicas mais robustas de estimativa da radiação global. Güçlü et al. (2014) utilizaram dados meteorológicos de três cidades turcas e compararam o desempenho de três metodologias para estimar a radiação com base na razão de insolação (n/N), sendo essas a equação de Angström-PreScott, um modelo de dependência que relaciona as variáveis com uma certa defasagem de tempo e a terceira é o sistema de inferência neuro-fuzzi adaptável (ANFIS) que apresenta condições específicas de entrada e saída dos

dados, sendo que nesse caso, os menores erros estatísticos foram obtidos utilizando o modelo de dependência.

Tabela 2. Coeficientes de Angström-Prescott obtidos para algumas localidades no Brasil e em outros países.

Autores	Localidades (Nº)	Coeficientes		
		a	b	R ²
Brasil				
Belúcio et al. (2014)	1 (Macapá - Amapá)	0,27	0,43	-
Ribeiro et al. (1982)	1 (Manaus - Amazonas)	0,26	0,49	0,69
Pacheco & Bastos (2002)	1 (Capitão Poço - Pará)	0,30	0,34	0,70
Martim et al. (2014)	1 (Sinop - Mato Grosso)	0,27	0,47	0,86
Buriol et al. (2012)	1 (Santa Maria - Rio Grande do Sul)	0,16 - 0,23	0,53 - 0,63	0,87 - 0,92
Medeiros et al. (2017)	1 (Rio Grande do Norte)	0,29 - 0,39	0,29 - 0,41	0,58 - 0,82
Tiba (2001)	34 (Brasil)	0,22 - 0,34	0,31 - 0,58	0,71 - 0,98
Silva et al., (2017)	1 (Botucatu - São Paulo)	0,25	0,46	0,81
Carvalho et al. (2011)	1 (Seropédica - Rio de Janeiro)	0,29	0,41	0,81
Dornelas et al. (2006)	1 (Brasília - Distrito Federal)	0,28	0,50	0,93
Mota et al. (1977)	95 (Brasil)	0,17 - 0,31	0,41 - 0,57	-
Pavão et al. (2018)	1 (Sinop - Mato Grosso)	0,33	0,40	0,68
Souza et al. (2016)	3 (Alagoas)	0,24 - 0,34	0,37 - 0,48	-
outros países				
All-Mostafa et al. (2014)	1 (Jouf - Arábia Saudita)	0,26	0,45	-
Güçlü et al. (2014)	3 (Turquia)	0,19 - 0,25	0,33 - 0,50	-
Morf (2018)	1 (Payerne - Suíça)	0,20	0,55	-
Morf (2018)	1 (Perth - Austrália)	0,08	0,66	-
Duzen & Aydin (2012)	7 (Turquia)	0,26 - 0,49	0,11 - 0,37	0,45 - 0,91
Mohammadi et al. (2016)	2 (Irã)	0,31 - 0,35	0,27 - 0,32	-
Sabziparvar et al. (2013)	15 (Irã)	0,15 - 0,28	0,42 - 0,69	0,54 - 0,82
Liu et al. (2012)	80 (China)	0,11 - 0,29	0,48 - 0,69	0,75 - 0,89
Liu et al. (2010)	20 (China)	0,11 - 0,22	0,50 - 0,61	0,69 - 0,78
Srivastava & Pandey (2013)	7 (Índia)	0,05 - 0,33	0,33 - 0,64	0,25 - 0,92
Andrisani et al. (2014)	2 (Itália)	0,2 - 0,21	0,53	0,92 - 0,94
Chen et al. (2004)	48 (China)	0,12 - 0,26	0,46 - 0,68	-

Número de estações (estado ou país), Brasil (especificação dada a artigos com abrangência de mais de um estado).

2.3.2 MODELO DE BRISTOW & CAMPBELL

A partição da energia radiante se divide, quase basicamente, em calor sensível (responsável pelas variações da temperatura do ar) e calor latente (responsável pela mudança de estado físico da água). Pela razão de Bowen (calor sensível/calor latente), que para um determinado dia, quanto maior a radiação incidente em uma superfície, maior será a amplitude térmica, resultante de temperaturas máximas durante o dia e mínimas a noite (BRISTOW & CAMPBELL 1984).

O calor sensível (H) é a componente do balanço de energia que permite a mensuração da energia utilizada no aquecimento do ar. A demanda por informações confiáveis relacionadas a radiação solar, levou determinação de vários métodos, como modelos empíricos simples a equações numéricas extremamente complexos (BRISTOW & CAMPBELL 1984). Sabendo da relação entre a radiação solar e a temperatura do ar, diversos modelos empíricos vêm sendo ajustados para a estimativa da radiação global, com destaque para o modelo de Bristow & Campbell (SOUZA et al., 2017; SILVA et al., 2018; BENDER & SENTELHAS, 2018; LIMA et al., 2019).

Bristow & Campbell (1984) mostraram para a cidade de Pullman nos EUA a existência da relação entre a transmisividade atmosférica e a amplitude térmica diária ($T_{max} - T_{min}$), que se ajustava em um modelo exponencial (Equação 13), e em testes com conjunto de dados, verificaram que de 70 a 90% da variação da radiação poderia ser explicada pelo modelo outras três cidades dos EUA. Nesse caso, a radiação global (Q_g) pode ser obtida pelas constantes do modelo (a, b e c), que representam as características microclimáticas do local, a amplitude térmica diária ($T_{max} - T_{mín}$) por sensores extremamente simples e a radiação no topo da atmosfera (Q_o) pela equação proposta por Allen et al. (1998). Os coeficientes (a, b e c) representam características físicas do local que foi ajustado (CHEN et al. 2004).

$$Q_g = a [1 - \text{EXP}(-b \Delta T^c)] Q_o \quad (13)$$

Para dias com chuva na cidade de Pullman, a amplitude térmica foi multiplicada por 0,75, pois era maior do que o valor esperado; porém períodos com muitos dias de chuva tendem a equilibrar a radiação incidente com a temperatura do ar, ou no caso a

amplitude térmica, só necessitando da multiplicação do 0,75 no primeiro dia (BRISTOW & CAMPBALL 1984). Todavia, em vários outros trabalhos posteriores, não houve relatos dessa condição.

Os coeficientes do modelo informam fisicamente as características do local, onde o (a) representa a transmissividade máxima da atmosfera, que é influenciada por particulados, e os coeficientes (b e c) relacionam o aumento da transmissividade atmosférica com a amplitude térmica diária (BRISTOW & CAMPBALL 1984). Os coeficientes originais da equação ajustados por Bristow & Campbell foram de 0,7 (a) e 2,4 (c) para o inverno e verão; e de 0,010 e 0,004 (b) nessas mesmas estações. Porém quando ainda não existem coeficientes ajustados para a região onde se deseja utilizar o modelo, recomenda-se a calibração com dados meteorológicos locais para evitar erros na estimativa da radiação global.

A Figura 2 representa a relação entre a amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$) e a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) gerada pelo modelo de Bristow & Campbell com os coeficientes (a, b e c) ajustados localmente, onde por ser um modelo exponencial a uma relação linear no início e a partir de um certo valor de amplitude térmica a transmissividade térmica tende a ficar constante.

Na Amazônia brasileira, as temperaturas máximas médias anuais oscilam de 31 a 37 °C, enquanto que as temperaturas mínimas variam de 20 a 26 °C (Figura 3), com no mínimo 6,0 °C de amplitude diária, reforçando a importância da calibração local de modelos que envolvam estimativas baseadas na temperatura do ar.

Em trabalhos já publicados com a aplicação do modelo de Bristow & Campbell para o Brasil e outros países (Tabela 3), nota-se que os coeficientes ajustados oscilam consideravelmente, pois as condições microclimáticas médias mudam no espaço e tempo, em função principalmente dos componentes atmosféricos (ANDRISANI et al., 2014). Vários trabalhos vêm sendo publicados comparando os modelos de estimativa da radiação global utilizando a temperatura, entre diferentes agrupamentos de dados (mensal, sazonal e anual), avaliando o desempenho de modelos híbridos que utilizam mais de uma variável (temperatura, insolação, altitude e precipitação), inteligência artificial, entre outros.

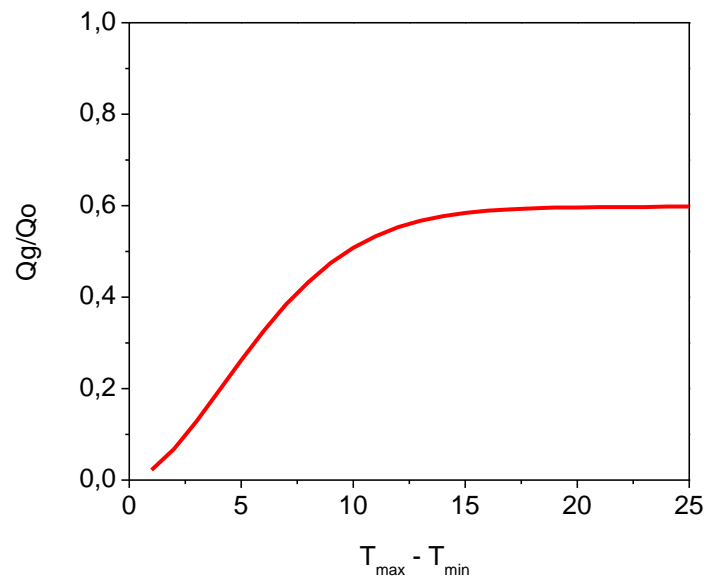


Figura 2. Representação do modelo de Bristow & Campbell no aumento da amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$) em relação a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o).

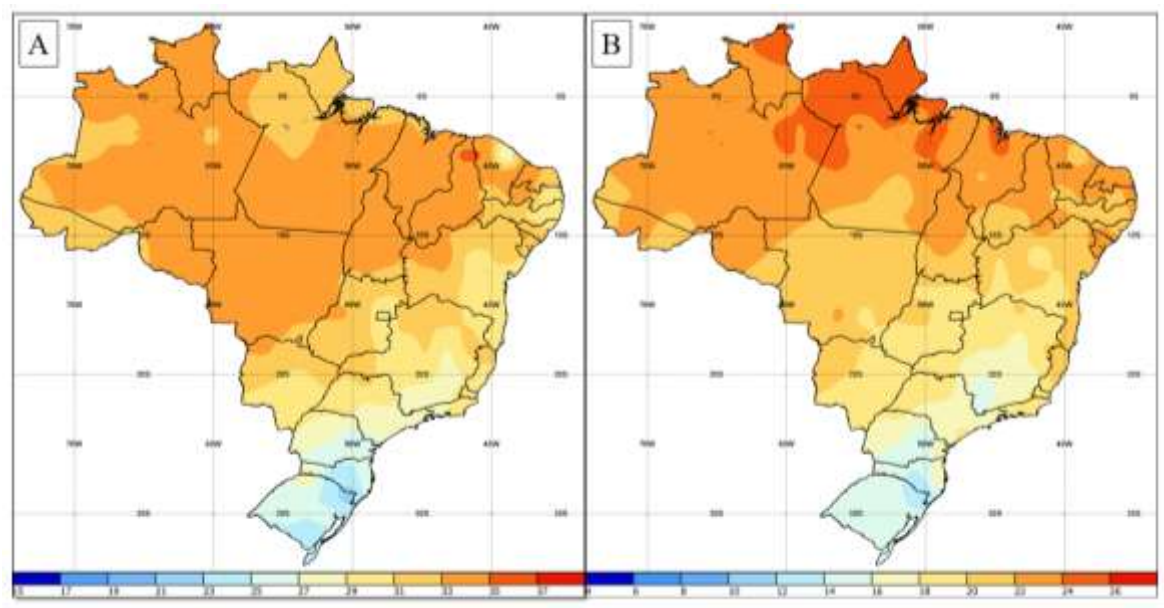


Figura 3. Temperatura máxima anual (Figura A) e temperatura mínima anual (Figura B) para o Brasil de 1981 a 2010 (Extraído e Adaptado do INMET, 2019).

Andriosani et al. (2014) compararam a estimativa da radiação solar nas cidades de Manfredonia e Portici (Itália), pelos modelos de Bristow & Campbell e Hangreaves & Samani (que utilizam a amplitude térmica diária) e de Angström-Prescott (que emprega a insolação) em comparação ao modelo híbrido de Dumas. Para a cidade de Portici que está próxima ao mar, os modelos de Bristow & Campbell e Hangreaves & Samani tiveram um desempenho ruim, com correlações de 0,24 quando comparado ao modelo de Angström-Prescott e Dumas que ficaram acima de 0,90; porém, para Manfredonia, todos os modelos apresentaram ótimas correlações com valores acima de coeficientes de determinação superiores 0,95. Essa diferença ocorre em função da condição microclimática de cada local, visto que Manfredonia está situada próxima a região de Gargano, que trata-se de uma região com várias montanhas, que conduz massas de ar quentes, enquanto que, Portici está situado próximo ao mar, que mitiga o efeito da temperatura no ar.

Goodin et al. (1999) avaliaram o desempenho do modelo de Bristow & Campbell e um modelo modificado ($Qg/Qo = a \left[1 - \exp\left(\frac{-b \Delta T c}{Qo}\right) \right]$) que foram calibrados para Manhattan e validados em dez cidades a fim de avaliar o efeito da sazonalidade. Para Manhattan o modelo modificado obteve melhor desempenho, e nas outras dez cidades o modelo modificado apresentou um bom desempenho na estimativa da radiação, e a divisão sazonal dos dados não melhora significativamente a precisão do modelo.

Lima et al. (2019) ajustaram os modelos de Bristow & Campbell e Hargreaves & Samani para quinze cidades localizadas no estado do Rio de Janeiro. A constante (Kr) do modelo de Hargreaves & Samani foi mais alta perto da zona costeira, e decresceu o valor em estações localizadas no interior. No modelo de Bristow & Campbell, os coeficientes (a) foram mais altos em clima semiárido e subúmido seco, enquanto que os coeficientes (b e c) não apresentaram padrão de distribuição para as diferentes condições climáticas do estado. Nesse caso, os dois modelos apresentaram estimativas com baixos erros padrões da radiação global quando ajustados para as condições locais.

Liu et al. (2009) avaliaram dez modelos baseados na proposta de Bristow & Campbell e seis modelos baseados em Hangreaves, para quinze cidades da China. Nesse caso, verificaram que as modificações do modelo original de Bristow & Campbell e Hangreaves por meio da inserção de novas variáveis produziram pouca ou em algumas estações, nenhuma melhoria no desempenho estatístico; o modelo de Bristow & Campbell

pela sua simplicidade e desempenho, foi então, indicado para estimar a radiação global na China. Esses resultados divergiram das conclusões de Chen et al. (2004), que indicaram que modelos baseados na temperatura do ar não são adequados para estimar a radiação global na China, pois apresentam desempenho muito baixo quando comparados aos modelos baseados na insolação.

Em condições mais abrangentes no Brasil, a modelagem da radiação pela equação de Bristow & Campbell (Figura 4) realizadas por Ramos et al., (2018) e Bender & Sentelhas (2018) abrangeram uma vasta área, porém ainda assim, nota-se que persiste uma lacuna na região da Amazônia, indicando ainda, a necessidade de pesquisas específicas para essa região.

Tabela 3. Coeficientes da equação de Bristow & Campbell, obtido para localidades do Brasil e em outros países.

Autores	Localidades (Nº)	Coeficientes			R ²
		a	b	c	
Brasil					
Ramos et al., (2018)	32 (Brasil)	0,519 - 0,823	0,008 - 0,142	0,911 - 2,417	-
Bender & Sentelhas (2018)	31 (Brasil)	0,750 - 0,770	0,010 - 0,070	1,020 - 2,230	-
Souza et al. (2017)	35 (Mato Grosso)	0,505 - 0,702	0,003 - 0,099	0,966 - 8,568	0,58 - 0,80
Silva et al., (2016a)	9 (Minas gerais)	0,67 - 0,79	0,006 - 0,046	1,27 - 2,45	-
Silva et al., (2016b)	6 (Minas Gerais)	0,68 - 0,87	0,012 - 0,039	1,30 - 1,99	-
Silva et al., (2012a)	11 (Minas Gerais)	0,66 - 0,84	0,009 - 0,027	1,607 - 2,312	-
Silva et al., (2012b)	4 (Minas Gerais)	0,707 - 0,747	0,007 - 0,016	1,877 - 2,470	-
Santos et al., (2014)	8 (Alagoas)	0,580 - 0,887	0,018 - 0,103	1,096 - 2,517	-
Lima et al., (2019)	15 (Rio de Janeiro)	0,588 - 0,684	0,007 - 0,884	0,347 - 2,441	-
Pavão et al., (2018)	1 (Sinop - Mato Grosso)	0,7	0,012	2,11	0,43
Silva et al., (2018)	1 (Botucatu - São Paulo)	0,673	0,047	1,602	-
outros países					
Bristow & Campbell (1984)	4 (EUA)	0,7	0,004 - 0,010	2,4	-
Goodin et al., (1999)	1 (Manhattan - EUA)	0,68	0,013	2,03	-
Quej et al., (2016)	6 (México)	0,712 - 0,840	0,023 - 0,330	0,630 - 1,731	-
Liu et al., (2009)	15 (China)	0,613 - 0,836	0,011 - 0,041	1,370 - 2,260	-
Andrisani et al., (2014)	2 (Itália)	0,550 - 0,920	0,01 - 0,06	1,16 - 3	-
Chen et al., (2004)	48 (China)	0,51 - 3,19	0,01 - 0,14	0,28 - 2,62	-

Número de estações (estado ou país), Brasil (representa a abrangência no estudo de mais de um estado).

Bender & Sentelhas (2018) avaliaram o desempenho de cinco modelos de estimativa da radiação com base na temperatura do ar para 31 estações meteorológicas distribuídas pelo Brasil, visando principalmente o preenchimento de falhas em séries de

dados (1980-2009) e prever os cenários de mudança climática no Brasil (2040-2069 e 2070 a 2099) através de sete modelos. Segundo esses autores, o modelo de Bristow & Campbell foi o que obteve melhor desempenho na estimativa da radiação global, além de apresentar bons resultados nas predições de tendências climáticas de aumento de temperatura do ar e diminuição de precipitação no norte e nordeste e aumentos de precipitação no sul do país.

Ramos et al. (2018) ajustaram os coeficientes do modelo de Bristow & Campbell e Hargreaves & Samani para 32 cidades brasileiras, e verificaram que os dois modelos obtiveram ótimos desempenhos estatísticos, sendo capazes de estimar a radiação global com precisão para os locais que foram ajustados.

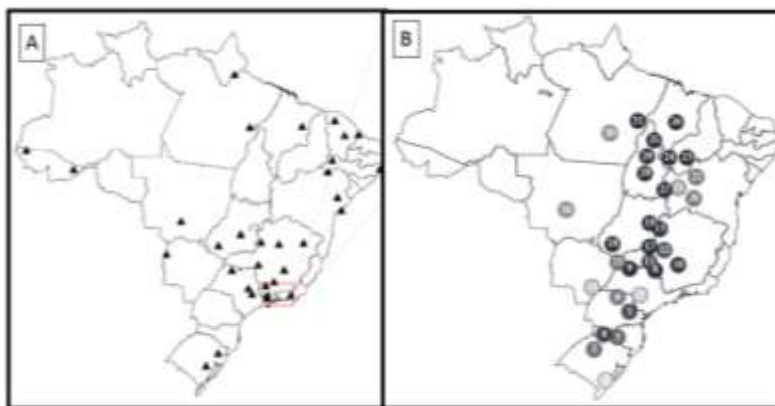


Figura 4. Distribuição de localidades com calibrações regionais do modelo de Bristow & Campbell no Brasil (Extraído e Adaptado de Ramos et al. (2018) (A) e Bender & Sentelhas (2018) (B)).

2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, Italy. 1998. 300 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AL-MOSTAFA, Z. A.; MAGHRABI, A. H.; AL-SHEHRI, S. M. Sunshine-based global radiation models: A review and case study. **Energy Conversion and Management**, v. 84, p. 209-216, 2014.
- ALMAGRO, A.; OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; HAGEMANN, S. Projected climate change impacts in rainfall aerosivity over Brazil. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017.
- ANGSTROM, A. Solar and Terrestrial Radiation. **Quarterly of the Royal Meteorological Society**, v. 50, p. 121-126, 1924.
- ANDRISANI, A.; MADONIA, M.; TRANCOSSI, M. Dumas Relationships Applied to Two Italian Sites. A Comparison among Various Solar Energy Estimating Formulas. **Energy Procedia**, v. 45, p. 342-351, 2014.
- ANDERSON, M. C.; ZOLIN, C. A.; HAIN, C. R.; SEMMENS, K.; YILMAZ, M. T.; GAO, F. Comparison of satellite-derived LAI and precipitation anomalies over Brazil with a thermal infrared-based Evaporative Stress Index for 2003-2013. *Journal of Hydrology*, v. 526, p. 287-302, 2015.
- BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Solar Radiation Models and Gridded Databases to Fill Gaps in Weather Series and to Project Climate Change in Brazil. **Advances in Meteorology**, v. 2, n. 4, p. 1-15, 2018.
- BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. A. RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL ESTIMADA A PARTIR DA INSOLAÇÃO PARA MACAPÁ (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; HELDWEIN, A. B.; PRESTES, S. D.; HORN, J. F. C. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1563-1567, 2012.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 31, n. 2, p. 159-166, 1984.

CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 838-844, 2011.

CHAMBERS, J. Q.; ASNER, G. P.; MORTON, D. C.; ANDERSON, L. O.; SAATCHI, S. S.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; PALACE, M. JR, C. S. Regional ecosystem structure and function: ecological insights from remote sensing of tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 8, p. 414-423, 2007.

CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v. 45, p. 1759-1769, 2004.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 8, p. 1213-1219, 2006.

DUZEN, H.; AYDIN, H. Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). **Energy Conversion and Management**, v. 58, p. 35-46, 2012.

GÜÇLÜ, Y. S.; YELEĞEN, M. Ö.; DABANLI, İ.; SISMAN, E. Solar irradiation estimations and comparisons by ANFIS, Angström-Prescott and dependency models. **Solar Energy**, v. 109, p. 118-124, 2014.

GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating Solar Irradiance for Crop Modeling Using Daily Air Temperature Data. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 845-852, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. revisada e ampliada, Rio de Janeiro, 2012.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> > Acessado em: 9 de outubro de 2019.

LIMA, A. O.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTOS, A. A. Assessment of monthly global solar irradiation estimates using air temperature in different climates of the state of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 9, p. 1-14, 2019.

LIU, X.; XU, Y.; ZHONG, X.; ZHANG, W.; PORTER, J. R.; LIU, W. Assessing models for parameters of the Angström-Prescott formula in China. **Applied Energy**, v. 96, p. 327-338, 2012.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; PORTER, J. R.; WANG, Q.; ZHANG, Y. Choice of the Angström-Prescott coefficients: Are time-dependent ones better than fixed ones in modeling global solar irradiance. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 12, p. 2565-2574, 2010.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; ZHANG, Y.; PORTER, J. R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in china. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 9, p. 1433-1446, 2009.

MARTIM, C. C.; SOUZA, A. P.; PAULINO, J.; ALMEIDA, F. T.; ARANTES, K. R. Coeficientes de Angström-Prescott para a Região Norte do Mato Grosso: Primeira aproximação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLII, Campo Grande, 2014. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2014. 10p.

MEDEIROS, F. J.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G. Calibration of Angström-Prescott Equation to Estimate Daily Solar Radiation on Rio Grande do Norte State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 409-461, 2017.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C. Estimates of solar radiation in Brazil. **Agricultural Meteorology**, v. 18, n. 4, p. 241-254, 1977.

MORF, H. Regression by Integration demonstrated on Angström-Prescott-type relations. **Renewable Energy**, v. 127, p. 713-723, 2018.

MOHAMMADI, K.; KHORASANIZADEH, H.; SHAMSHIRBAND, S.; TONG, C. W. Influence of introducing various meteorological parameters to the Angström-Prescott model for estimation of global solar radiation. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 219, 2016.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. Estimativa da radiação solar global diária em Capitão Poço, PA através da equação de Angstrom. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. SBMET, 2002, 4p.

PAVÃO, V. M.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, L. L.; SILVA, P. C. B. S. Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, n. 14, p. 1-17, 2018.

PRĂVĂLIE, R.; PATRICHE, C.; BANDOC, G. Spatial assessment of solar energy potential at global scale. A geographical approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 692-721, 2019.

PRESCOTT, J. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society of South Australia**, v. 64, p. 114-118, 1940.

QUEJ, V. H.; ALMOROX, J.; IBRAKHIMOV, M.; SAITO, L. Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico. **Energy Conversion and Management**, v. 110, n. 15, p. 448-456, 2016.

RAMOS, J. P. A.; VIANNA, M. S.; MARIN, F. R. Estimativa da radiação solar global baseada na amplitude térmica para o Brasil. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 37-51, 2018.

RIBEIRO, M. N. G.; SALATI, E.; NOVA, N. A. V.; DEMÉTRIO, C. G. B. Radiação solar disponível em Manaus (AM) e sua relação com a duração do brilho solar. **Acta Amazonica**, v. 12, n. 2, p. 339-346, 1982.

SABZIPARVAR, A. A.; MOUSAVI, R.; MAROFI, S.; EBRAHIMIPAK, N. A.; HEIDARI, M. Na Improved Estimation of the Angstrom-Prescott radiation coefficients for the FAO56 Penman-Monteith evapotranspiration method. **Water Resources Management**, v. 27, n. 8, p. 2839-2854, 2013.

SALAZAR, A.; BALDI, G.; HIROTA, M.; SYKTUS, J.; MCALPINE, C. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. **Global and Planetary Change**, v. 128, p. 103-119, 2015.

SILVA, M. B. P.; ORTEGA, L. R. Z.; ESCOBEDO, J. F.; FERRARI, J. M. S.; PAES, A. C.; MARQUES, A. S.; PAI, E. D.; SANTOS, C. M. Comparação entre modelos de estimativa de radiação solar utilizando a temperatura do ar em Botucatu/SP/Brasil. *Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, v. 6, n. 7, p. 1-9, 2018.

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M.; ROSSI, T. J.; SILVA, S. H. M. G. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN Techniques to estimate the daily Global Solar Irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 160, p. 11-23, 2017.

SRIVASTAVA, B. C.; PANDEY, H. Estimating Angström-Prescott Coefficients for India and Developing a correlation between Sunshine Hours and Global solar Radiation for India. **Renewable Energy**, v. 2, n. 4, p. 1-7, 2013.

SILVA, V. J.; CARVALHO, F. J.; SILVA, C. R.; ATARASSI, R. T.; ALMOROX, J. Solar radiation estimated from empirical models for the north of Minas Gerais, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 123-131, 2016a.

SILVA, V. J.; SILVA, C. R.; ALMOROX, J.; JÚNIOR, J. A. Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 7, p. 926-932, 2016b.

SILVA, C. R.; SILVA, V. J.; JÚNIOR, J. A.; CARVALHO, H. P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 281-288, 2012a.

SILVA, V. J.; SILVA, C. R.; FINZI, R. R.; DIAS, N. S. Métodos para estimar radiação solar na região noroeste de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 42, n. 2, p. 276-282, 2012b.

SIMÕES, R.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; MACIEL, A.; SANTOS, L.; ANDRADE, P. R.; SÁNCHEZ, A.; FERREIRA, K.; CARVALHO, A. Land use and cover maps for Mato Grosso State in Brazil from 2001 to 2017. **Scientific Data**, v. 7, n. 34, 2020.

SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; JUNIOR, R. A. F.; TIBA, C.; MELO, R. O.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M. On modeling global solar irradiation air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Energy**, v. 71, p. 388-398, 2014.

SANTOS, J. S.; FELTRAN-BARBIERI, R.; FONTE, E. S.; BALMFORD, A.; MAIOLI, V.; LATAWIEC, A.; STRASSBURG, B. B. N.; PHALAN, B. T. Characterising the spatial distribution of opportunities and constraints for land aparing in Brazil. **Scientific Reports**, v.10, n. 1946, 2020.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; TANAKA, A. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; KLAR, A. E.; GOMES, A. W. A. Global radiation by simplified models for the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 215-227, 2017.

SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, C. M.; JUNIOR, R. A. F.; TIBA, C. LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M. Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using Sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 14, p. 35-45, 2016.

TIBA, C. Solar radiation in the Brazilian Northeast. **Renewable Energy**, v. 22, p. 565-578, 2001.

WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Organização Mundial de Meteorologia, 2014. 1177p.

ZAIATZ, A. P. S. R.; ZOLIN, C. A.; VENDRUSCULO, L. G.; LOPES, T. R.; PAULINO, J. Agricultural land use and cover change in the Cerrado/Amazon ecotone: A case study of the upper Teles Pires River basin. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 2, p. 168-177, 2018.

3.0 CAPÍTULO II – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA INSOLAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

3.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar estatisticamente equações simplificadas de estimativa da radiação global (Q_g) com base na razão de insolação (n/N), em diferentes agrupamentos de dados, para estimativas da radiação global na Amazônia brasileira. O modelo de Angström-Prescott, baseia-se na transmissividade atmosférica ($Q_g/Q_o = a + b (n/N)$) é composto pela radiação solar (Q_g) e do topo da atmosfera (Q_o), coeficiente linear (a) e angular (b), insolação (n) e fotoperíodo (N). Os dados meteorológicos de 20 estações meteorológicas (automáticas e convencionais) inseridas no bioma amazônico foram separados em agrupamentos total, anual e sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca), sendo 70% empregados para geração dos coeficientes e 30% para avaliação estatística do desempenho (com os indicadores erro relativo médio – MBE; quadrado da raiz do erro médio – RMSE; e índice de concordância de Willmott). O modelo total apresentou o pior desempenho, com os maiores erros. O modelo ajustado para o agrupamento sazonal apresentou melhor desempenho quando se analisa os índices estatísticos MBE, RMSE e d e os valor ponderado (vp). O coeficiente linear (a) e angular (b) tiveram correlações acima de 70% sazonalmente. Com base no exposto, recomenda-se a utilização do modelo de Angström-Prescott ajustado sazonalmente, porém pode-se utilizar os coeficientes anuais sem grandes erros para as estações inseridas na Amazônia.

Palavras-chave: razão de insolação, modelo Angstrom-Prescott, modelo simplificado, radiação solar.

GLOBAL RADIATION ESTIMATES BASED ON INSOLATION IN BRAZILIAN AMAZON

3.2 ABSTRACT

The objective of this work was to calibrate and statistically evaluate simplified global radiation estimation equations (Q_g) based on the insolation ratio (n / N), in different data groups, for global radiation estimates in the Brazilian Amazon. The Angström-Prescott model, based on atmospheric transmissivity ($Q_g / Q_o = a + b (n / N)$) is composed of solar radiation (Q_g) and the top of the atmosphere (Q_o), linear coefficient (a) and angular (b),

heat stroke (n) and photoperiod (N). The meteorological data of 20 meteorological stations (automatic and conventional) inserted in the Amazon biome were separated into total, annual and seasonal groupings (drought, drought, rain and drought), with 70% being used to generate the coefficients and 30% for statistical evaluation of performance (with indicative mean relative error - MBE; root mean square error - RMSE; and Willmott agreement index). The total model had the worst performance, with the biggest errors. The adjusted model for the seasonal grouping performed better when analyzing the statistical indexes MBE, RMSE and d and the weighted value (vp). The linear (a) and angular (b) coefficients had correlations above 70% seasonally. Based on the above, it is recommended to use the seasonally adjusted Angström-Prescott model, but it is possible to use the annual coefficients without major errors for the stations inserted in the Amazon.

Keywords: sunstroke ratio, Angstrom-Prescott model, simplified model, solar radiation.

3.3 INTRODUÇÃO

A Amazônia engloba vários países da América do Sul, como, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia e no Brasil ocupa uma faixa que se estende da latitude 5° N a 15° S e longitude de 72° O a 44° O. Em função de sua localização, associado a disponibilidade hídrica (ALVARES et al., 2013, BELÚCIO et al. 2014) e radiação abundantes em boa parte do ano, a Amazônia brasileira contém uma alta diversidade de espécies da fauna e flora.

A nível nacional a limitação quanto a informações meteorológicas, principalmente as estações meteorológicas que possuem registro da radiação solar, pois os sensores são caros e necessitam de manutenções especializa periódica (BURIOL et al. 2012), quando se analisa a região da Amazônia brasileira a limitação é ainda maior, decorrentes principalmente das dificuldades de acesso/logística.

Em condições de escassez de dados meteorológicos, os modelos matemáticos são normalmente utilizados para suprir essas lacunas, podendo ser aplicados em preenchimento de falhas, construção de séries históricas contínuas, análises de sensibilidade e outros processos de estimativas (AL-MOSTAFA et al., 2014).

A modelagem da radiação solar por modelos simplificados, vêm se tornando cada vez mais difundida na comunidade científica, em função da simplicidade dos modelos e

disponibilidade de variáveis de entrada como insolação (n) (Angström-Prescott) e temperatura do ar (Tar) (Bristow & Campbell). Nesse sentido, recentemente têm surgido os modelos híbridos, que além da temperatura e insolação usam dados de umidade do ar, altitude, precipitação, dentre outros; que podem, ainda, serem utilizados em conjunto ou separados, a depender da complexidade do modelo a ser empregado.

Dentre os vários modelos de estimativa da radiação global, a proposta de Angstrom-Prescott, que indica a dependência a razão de insolação (n/N) e a radiação no topo da atmosfera (Q_0), é um dos métodos simplificados mais avaliados pelo mundo. Inicialmente, Angstrom (1924) provou que existia uma relação linear entre a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_0) e a insolação (n) em dias sem nuvens; como essa condição de céu, na prática pouco ocorre, o modelo foi alterado por Prescott (1944), incorporando outras condições de nebulosidade; nesse caso, o modelo ficou conhecido como Angstrom-Prescott. No ajuste de uma regressão linear entre a razão de insolação (n/N) (variável independente) e a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_0) (variável dependente), ocorre a dependência de coeficientes linear (a) e angular (b), que indicam a transmissividade atmosférica mínima da região (relacionado a radiação difusa) e o grau de crescimento da transmissividade atmosférica com o aumento do brilho solar (relacionado com a radiação direta), respectivamente (BURIOL et al., 2012).

Na Amazônia brasileira, ocorre uma variação sazonal dos elementos climáticos (BELÚCIO et al. 2014), o que indica a necessidade de avaliações sazonais (estações hídricas e/ou estações do ano) para a geração de coeficientes regionalizados condicionados pelas condições climáticas da mesorregião. Vários estudos vêm demonstrando que o modelo original proposto por Angstrom-Prescott, apresenta um desempenho melhor ou superior a outras modificações propostas a sua condição original (polinomial de segundo e terceiro grau, exponencial, logarítmico) (All-Mostafa et al., 2014).

O modelo de Angström-Prescott vêm sendo ajustado para vários países, como Arábia Saudita (All-Mostafa et al., 2014), Turquia (Güçlü et al., 2014; Duzen & Aydin, 2012), Suíça e Austrália (Morf, 2018), Irã (Mohammadi et al., 2016; Sabziparvar et al., 2013), China (Liu et al., 2010; Liu et al., 2012; Chen et al., 2004), Índia (Srivastava & Pandey, 2013) e Itália (Andrisani et al., 2014). No Brasil, também já foram realizados ajustes em algumas localidades da região amazônica, como Macapá-AP (Belúcio et al.,

2014), Manaus-AM (Ribeiro et al., 1982), Capitão Poço-PA (Pacheco & Bastos, 2002), Sinop-MT (Martim et al., 2014; Pavão et al., 2018); e em outras regiões do país, como Santa Maria-RS (Buriol et al., 2012), Rio Grande do Norte (Medeiros et al., 2017), região Nordeste (Tiba, 2001), Botucatu-SP (Silva et al., 2017), Seropédica-RJ (Carvalho et al., 2011), Brasília-DF (Dornelas et al., 2006), Brasil (Mota et al., 1977) e Alagoas (Souza et al., 2016) .

Em função da inexistência de trabalhos na literatura que calibraram a equação de Angström-Prescott para toda a Amazônia brasileira o presente trabalho tem como objetivo estimar os coeficientes da equação de Angström-Prescott para vinte cidades inseridas na Amazônia brasileira, em diferentes agrupamentos de dados.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos diários utilizados neste estudo foram oriundos das estações meteorológicas de superfície automáticas e convencionais (Figura 5) localizadas no bioma amazônico brasileiro, pertencente a Rede de Estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET). A insolação (n), medida em horas pelo heliógrafo Campbell-Stokes, foi obtida junto ao Banco de dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP) do próprio INMET.

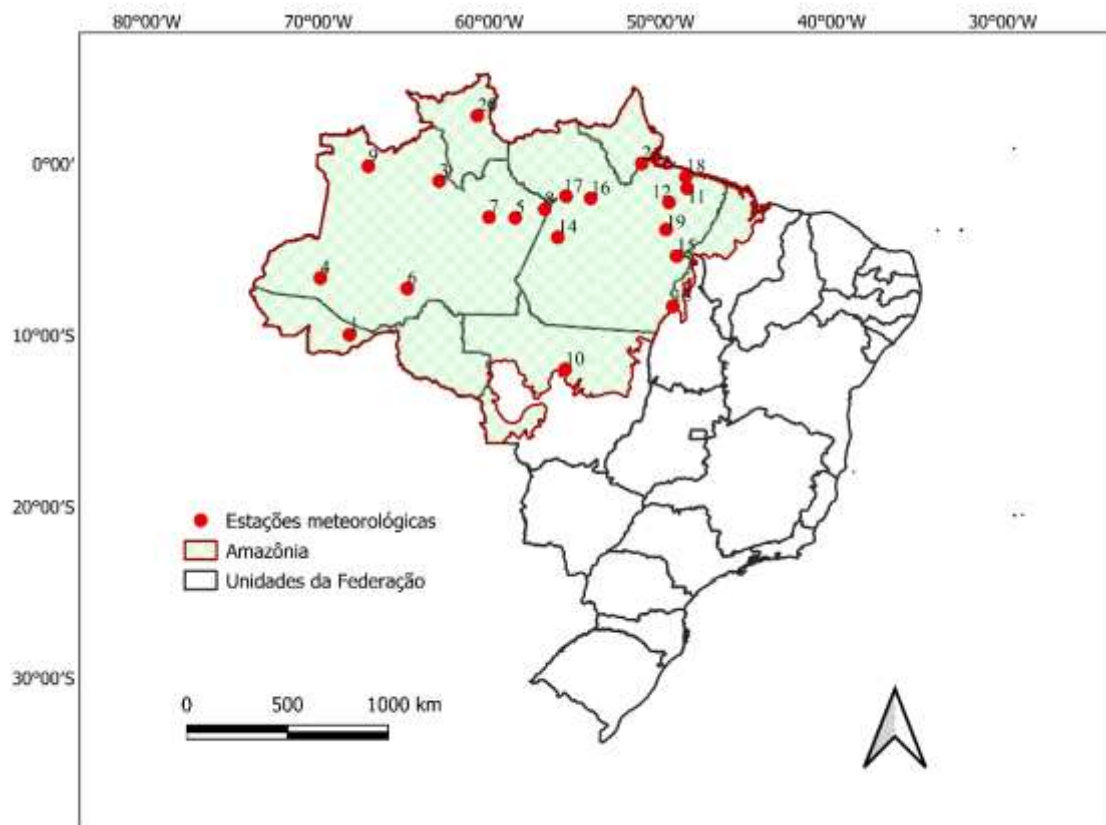


Figura 5. Localização das estações meteorológicas estudadas inseridas na Amazônia brasileira. (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1993).

A Amazônia brasileira apresenta segundo a classificação de Köppen os tipos climáticos Af (clima tropical úmido), Am (clima de monções) e pequena parte Aw (clima tropical com estação seca de inverno) (ALVARES et al., 2014). A Tabela 4 apresenta as informações das 20 estações meteorológicas avaliadas no presente trabalho. Sabe-se que existem outras estações da Rede no INMET na Amazônia, contudo, nesse trabalho, foram avaliadas apenas as estações que apresentaram as medidas da insolação disponível e concomitantes com medidas de rotina da radiação global por estações meteorológicas automáticas (EMA's), considerando distâncias máximas de 100 km. A abrangência espacial das estações avaliadas varia de 2,82 a -11,97° na latitude e de -48,43 a -72,66° na longitude. O período de dos dados foi diferente nas cidades em função das diferentes datas de instalação das EMC's e EMA's, sendo o número de dados efetivamente utilizados, menor em função de falhas ou falta de consistência da base de dados.

Tabela 4. Estações meteorológicas automáticas inseridas na Amazônia brasileira.

Código	Cidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período de dados	TD	PF (%)
ACRE							
A104	1 - Rio Branco	-7,6	-72,66	220	05/2015 - 06/2018	1144	36
AMAPÁ							
A249	2 - Macapá	0,035	-51,13	27	12/2013 - 06/2018	1662	30
AMAZONAS							
A128	3 - Barcelos	-0,98	-62,92	17	04/2008 - 06/2018	3725	32
A109	4 - Eirunepé	-6,65	-69,87	143	08/2012 - 06/2018	2130	44
A121	5 - Itacoatiara	-3,12	-58,47	37	04/2008 - 06/2018	3723	30
A111	6 - Labrea	-7,25	-64,78	64	07/2008 - 06/2018	3627	66
A101	7 - Manaus	-3,12	-59,95	67	05/2000 - 06/2018	6627	26
A123	8 - Parintins	-2,63	-56,75	35	04/2008 - 06/2018	3734	56
A134	9 - São G. Cachoeira	-0,12	-67,05	90	09/2011 - 06/2018	2496	18
MATO GROSSO							
A917	10 - Sinop	-11,97	-55,55	371	11/2006 - 12/2017	4082	59
PARÁ							
A201	11 - Belém	-1,4	-48,43	24	01/2003 - 12/2017	5460	41
A236	12 - Cametá	-2,23	-49,48	22	06/2008 - 12/2017	3480	18
A241	13 - Conceição Araguaia	-8,25	-49,27	180	09/2008 - 12/2017	3406	11
A231	14 - Itaituba	-4,27	-56	131	02/2008 - 12/2017	3606	23
A240	15 - Marabá	-5,17	-49,37	116	07/2009 - 12/2017	3112	21
A239	16 - Monte Alegre	-2	-54,07	96	07/2012 - 12/2017	2005	25
A232	17 - Óbidos	-1,88	-49,12	96	07/2012 - 12/2017	2006	45
A227	18 - Soure	-0,8	-48,5	11	05/2008 - 12/2017	3536	19
A229	19 - Tucuruí	-3,82	-49,67	148	03/2008 - 12/2017	3593	20
RORAIMA							
A135	20 - Boa Vista	2,82	-60,68	94	09/2010 - 06/2018	2865	15

TD (total de dados diários); PF (percentual de dados faltosos/sem consistência)

As condições meteorológicas das 20 estações utilizadas neste estudo (Figura 6) seguiram um padrão semelhante ao longo do ano, com as medidas de radiação global aumentando de 16,55 MJ m⁻² d⁻¹ em fevereiro para 20,33 MJ m⁻² d⁻¹ em setembro; a insolação variou de 4,41 horas dia⁻¹ em fevereiro a 8,34 horas dia⁻¹ em agosto; a temperatura do ar média mensal oscilou de 26,22 °C em fevereiro e 27,87 °C em setembro, enquanto que a umidade relativa do ar variou de 82,61% em abril a 70,49% em setembro. Esse comportamento ocorre em função da baixa presença de nuvens e vapor d'água na atmosfera no período seco (junho a setembro). Em média, as maiores precipitações pluviiais ocorrem em março (318 mm mês⁻¹) e totais anuais ficam em torno de 2252 mm.

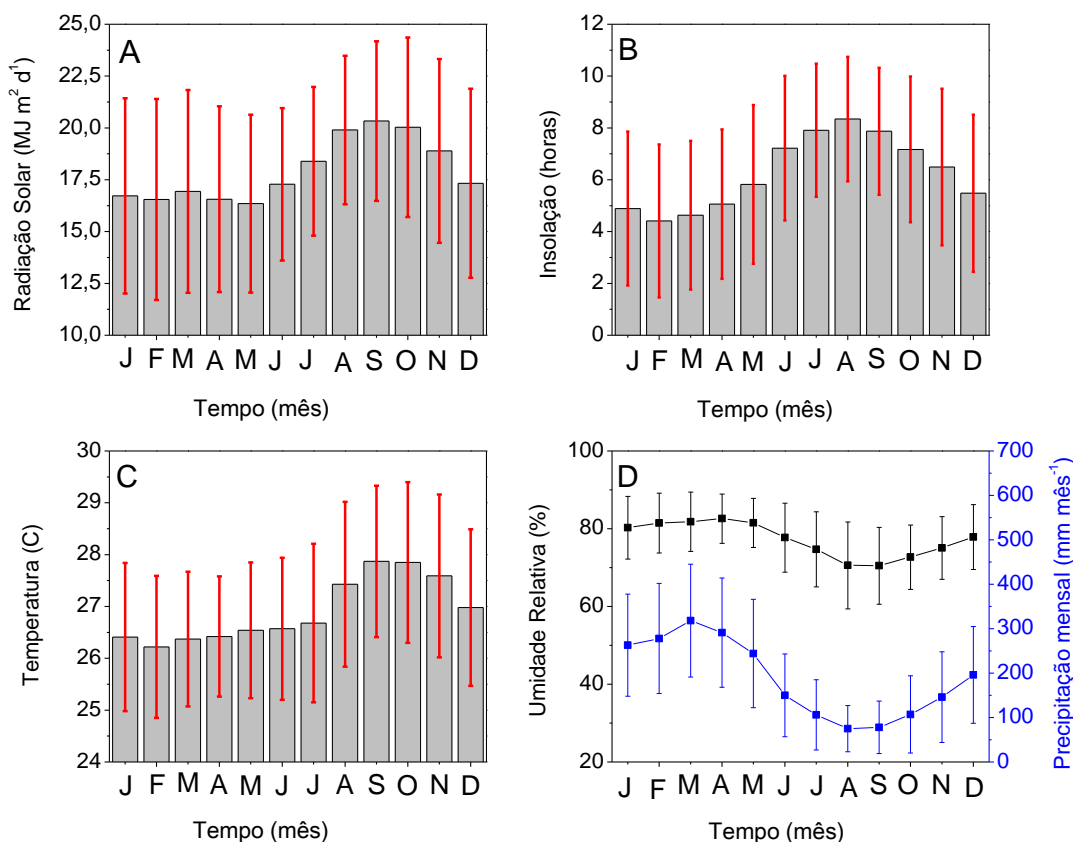


Figura 6. Médias mensais diárias (desvio padrão) da radiação global(A), insolação (B), temperatura do ar (C) e umidade relativa do ar e precipitação (D), de 20 estações meteorológicas situadas na Amazônia brasileira.

O modelo de Angström- Prescott (Equação 14), estima a radiação global (Q_g) apenas em função da radiação no topo da atmosfera (Q_o), dos coeficientes “a” e “b” (modelo linear) e da razão entre a insolação (n) e o fotoperíodo (N). Nesse caso, a radiação no topo da atmosfera (Q_o , $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e suas variáveis foram estimativas seguindo as recomendações de Allen et al. (1998) e Iqbal (1983).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = a + b \left(\frac{n}{N} \right) \quad (14)$$

$$Q_o = 37,59 * dr * \left(\frac{\pi}{180} * Ho * \text{sen } \varnothing * \text{sen } \delta + \text{cos } \varnothing * \text{cos } \delta * \text{sen } Ho \right) \quad (15)$$

$$dr = 1 + 0,033 * \cos \left(\frac{360 * DJ}{365} \right) \quad (16)$$

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left[\frac{360}{365} (DJ + 284) \right] \quad (17)$$

$$Ho = \text{cos}^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta) \quad (18)$$

$$N = \frac{2*Ho}{15} \quad (19)$$

em que: 37,6 (constante); \varnothing é a latitude local ($^{\circ}$); δ é declinação solar ($^{\circ}$); H_o é o ângulo horário diário ($^{\circ}$); dr é o fator de excentricidade da órbita da Terra; e DJ é ordenamento dos dias ao longo do ano (dias).

A fim de melhorar o desempenho e evitar que valores errôneos fossem usados na geração dos coeficientes do modelo, a base de dados foi submetida a filtros para detectar valores anormais, sendo adotados os seguintes procedimentos de exclusão: i) insolação (n) ausente e/ou razão de insolação (n/N) maior que 1,0 ou menor que 0,0; ii) radiação solar (Q_g) nula entre as 10 e 14 horas; iii) transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) superiores a 0,85 (ESCOBEDO et al., 2009).

As bases de dados de cada EMC ou EMA foram separadas em agrupamentos total, anual e sazonal, sendo estes, separados novamente em 70 % dos dados para calibração dos coeficientes e 30% para análise de desempenho estatístico. Essas separações foram realizadas de forma sistemática, para que todas as bases de dados apresentassem todos os decêndios de cada mês, independentemente do agrupamento. Ainda foi considerado um agrupamento total de dados (todos os anos em todas as EMC's e EMA's) com o mesmo particionamento supracitado, visando verificar a possibilidade de utilização de coeficientes únicos para o bioma amazônico. As bases sazonais foram divididas em: i) seca (junho a agosto); ii) seca-chuva (setembro a novembro); iii) chuva (dezembro a fevereiro); iv) chuva-seca (março a maio).

Nas avaliações de desempenho estatístico (base de dados de validação – 30% dos dados, que não foram empregados nas calibrações) foram considerados: i) aplicação dos coeficientes calibrados no agrupamento total (t) em bases de dados anuais e sazonais de cada EMA; ii) aplicação dos coeficientes calibrados no agrupamento anual de cada EMA, nas suas respectivas bases de dados sazonais; iii) e os coeficientes calibrados sazonalmente em cada EMA, aplicados nas suas bases de dados.

Na análise do desempenho estatístico (validação) dos modelos, utilizou-se o índice de concordância de Willmott (d), erro relativo médio (MBE) e raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) nas equações 20, 21 e 22.

$$MBE = \frac{\sum_i^N (P_i - O_i)}{N-1} \quad (20)$$

$$\text{RMSE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (22)$$

em que: P_i é o valor estimado pelo modelo, O_i é o valor medido pela estação meteorológica, N é o número de observações.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 7 apresenta a calibração da Equação 14 para o agrupamento total das 20 estações meteorológicas automáticas inseridas no bioma amazônico. O coeficiente linear e angular ajustado foi de 0,2725 e 0,4380 com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,79, mostrando um bom ajuste dos dados. Quando se compara a amplitude dos coeficientes (a e b) ajustados no agrupamento sazonal com o total foi encontrado uma diferença de até 0,1889 e 0,2636 que ocorreu na transição seca-chuva e chuva-seca e os coeficientes anuais de 0,1310 e 0,1825. Os coeficientes do agrupamento total é um valor intermediário quando se compara a outros agrupamentos, que pode representar um grande erro se utilizado nas cidades do bioma amazônico para estimativa da radiação solar.

Para regiões onde não existe a calibração das constantes da equação de Angström-Prescott foi proposto no boletim da FAO por Allen et al., (1998) os valores de 0,25 (a) e 0,50 (b), porém Medeiros et al. (2017) avaliando a diferença entre os coeficientes ajustados sazonalmente e anualmente em relação ao recomendado pelo boletim da FAO o coeficiente linear foi maior e o angular menor, pois para Carvalho et al. (2011) os coeficientes (a e b) da equação de Angström-Prescott representa a característica microclimática do local e deve ser ajustado para diferentes condições meteorológicas da região, o que não aconteceu na Figura 6 que é um modelo mais abrangente e levou a diferenças expressivas quando se compara coeficientes total, anual e sazonal.

Para Liu et al. (2012) modelos que são descritos como universais, independentemente do número de estações meteorológicas e abrangência dos dados devem ser usados com cautela, dando preferência a modelos considerando condições locais.

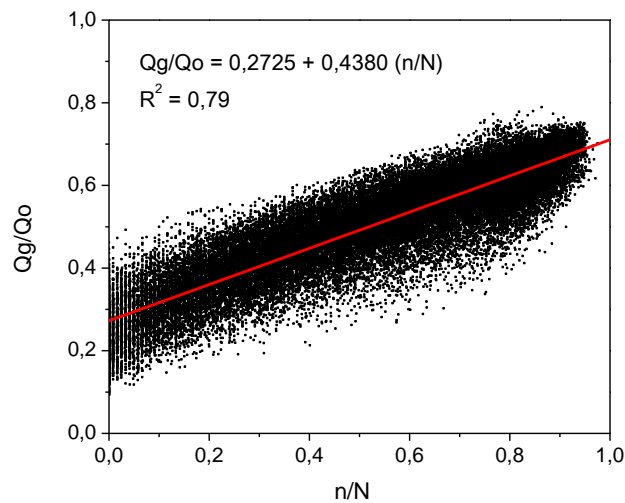


Figura 7. Calibração do modelo de Angstrom-Prescott no agrupamento total para cidades inseridas na Amazônia brasileira.

A Tabela 5 mostra os coeficientes linear (a), angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) para o agrupamento sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca) e anual para 20 cidades inseridas no bioma amazônico brasileiro. Os coeficientes linear (a) variaram de 0,2167 a 0,3680; 0,2290 a 0,4118; 0,2230 a 0,3396; 0,2129 a 0,3586 e 0,2251 a 0,3561 os coeficientes angular (b) de 0,3325 a 0,4903; 0,3235 a 0,4911; 0,3585 a 0,5127; 0,3218 a 0,5854 e 0,3452 a 0,5277 e os coeficientes de determinação (R^2) de 0,51 a 0,90; 0,47 a 0,89; 0,71 a 0,93; 0,58 a 0,90; 0,65 a 0,91 para a seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca e anual. Em média os coeficientes de determinação foram de $0,77 \pm 0,11$, $0,77 \pm 0,10$, $0,81 \pm 0,06$, $0,80 \pm 0,08$ e $0,81 \pm 0,06$ com o menor valor na seca ($0,77 \pm 0,11$) e maior anual ($0,81 \pm 0,06$).

Na Amazônia a regiões com condições meteorológicas muito específica, como por exemplo Belúcio et al. (2014) relata que, para a cidade de Macapá não a duas estações bem definidas como seca e chuva, mas sim uma estação onde a chuvas são excedentes e outra com chuvas moderadas. Para Macapá (Tabela 5) o coeficiente anual foi de 0,2378 e 0,5217 com maior coeficiente de determinação de todas as cidades avaliadas com 0,91, onde para o mesma cidade Belúcio et al. (2014) encontraram 0,27, 0,43 e 0,67 com a, b e R^2 .

Em Sinop o desempenho dos coeficientes de Angström-Prescott para a seca foi um dos mais baixos, com correlação de 73%, em função da posição geográfica da cidade,

que situa-se na transição dos biomas cerrado-amazônia onde na seca (junho, julho e agosto) em comparação a chuva (dezembro, janeiro e fevereiro) a insolação média foi de $8,84 \pm 1,27$ e $4,31 \pm 2,79$ horas, radiação global de $19,5 \pm 2,05$ e $18,28 \pm 4,98$ MJ m⁻² d⁻¹, a transmissividade atmosférica de 64 ± 6 e $46 \pm 13\%$ e razão de insolação de 77 ± 11 e $34 \pm 22\%$, onde na seca os valores são maiores porém com baixo desvio padrão, o que significa que os pontos ficam concentrados em uma região limitada no plano cartesiano, acarretando assim uma baixa correlação entre a radiação e a insolação. Para Sinop os coeficientes anuais encontrados foram de 0,3041 e 0,4458 em estudo para a mesma cidade Martim et al. (2014) encontraram 0,2679 e 0,4726 e Pavão et al. (2018) com 0,33 e 0,40.

Belém foi a cidade com a menor correlação dos modelos avaliados, onde sazonalmente na seca e seca-chuva ocorreram os menores valores que foram de 71 e 68% e na chuva o maior valor com 84%. Essa diferença poderia ser em função da proximidade da cidade com uma grande superfície de água livre (oceano) ocorrendo os processos de continentalidade e maritimidade, porém analisando a cidade do Amapá que está na mesma latitude e também próxima a grandes rios e do oceano a correlação foi de 93 e 77% para seca e seca-chuva e de 95% na chuva. Anualmente os coeficientes para Belém foi de 0,2251 e 0,3561 com correlação de 81%, Mota et al. (1977) anualmente obtiveram os valores para Belém de 0,29 e 0,43, Pacheco & Bastos (2002) encontraram valores de 0,2980 e 0,3412 com correlação de 84% para a cidade de Capitão Poço que fica próxima a Belém.

Para Manaus os coeficientes anuais foram de 0,2356 e 0,4865 com correlação de 92% e Mota et al. (1977) encontraram 0,27 e 0,45, Ribeiro et al. (1982) encontraram 0,26 e 0,49 e correlação de 83%.

Para outras cidades brasileiras Buriol et al. (2012) obtiveram nos meses uma variação de 0,165 a 0,2366 no coeficiente linear e 0,5363 a 0,632 no angular, Medeiros et al., (2017) anualmente encontraram amplitude de 0,29 a 0,39 e 0,29 a 0,41, Tiba (2001) de 0,22 a 0,34 e 0,31 a 0,58, Silva et al., (2017) com 0,253 e 0,465, Carvalho et al., (2011) com 0,295 e 0,417, Dornelas et al. (2006) de 0,28 e 0,50, Mota et al. (1977) foi de 0,17 a 0,31 e 0,41 a 0,57, Souza et al. (2016) foi de 0,24 a 0,34 e 0,37 a 0,48, Tiba (2001) foi de 0,22 a 0,35 e 0,31 a 0,58.

Tabela 5. Coeficiente linear (a) e angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) do modelo de Angstrom-Prescott ajustados nos agrupamentos sazonal (seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca) e anual para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.

Estação	Sazonal									Anual					
	seca			seca - chuva			chuva			chuva - seca					
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2			
ACRE															
A104	0,2876	0,4297	0,82	0,2819	0,444	0,81	0,2779	0,4577	0,78	0,2823	0,4322	0,82	0,2819	0,4405	0,82
AMAPÁ															
A249	0,2847	0,4688	0,87	0,402	0,324	0,59	0,2423	0,5117	0,92	0,2129	0,5854	0,87	0,2378	0,5277	0,91
AMAZONAS															
A128	0,3025	0,4514	0,81	0,313	0,439	0,83	0,304	0,4358	0,76	0,295	0,4936	0,77	0,3025	0,4514	0,79
A109	0,3052	0,4035	0,79	0,277	0,447	0,81	0,2715	0,5076	0,74	0,2846	0,4517	0,74	0,2833	0,4459	0,78
A121	0,2489	0,4396	0,81	0,24	0,446	0,8	0,223	0,5033	0,83	0,2305	0,5175	0,83	0,2358	0,4675	0,83
A111	0,3161	0,3502	0,72	0,308	0,41	0,78	0,2925	0,4732	0,76	0,2912	0,4357	0,82	0,3057	0,3959	0,78
A101	0,2396	0,4848	0,86	0,243	0,463	0,82	0,2284	0,4909	0,82	0,2347	0,5126	0,84	0,2356	0,4865	0,85
A123	0,2335	0,4713	0,88	0,245	0,491	0,89	0,2343	0,5127	0,86	0,2311	0,5264	0,84	0,2389	0,4911	0,88
A134	0,2392	0,4564	0,8	0,265	0,453	0,79	0,262	0,4405	0,79	0,2611	0,4449	0,79	0,2575	0,4517	0,8
MATO GROSSO															
A917	0,3408	0,3906	0,54	0,309	0,427	0,74	0,2888	0,4946	0,77	0,3167	0,4362	0,79	0,3041	0,4458	0,75
PARÁ															
A201	0,2209	0,3694	0,51	0,229	0,35	0,47	0,2271	0,3654	0,71	0,23	0,3218	0,58	0,2251	0,3561	0,65
A236	0,300	0,4163	0,72	0,307	0,405	0,73	0,2913	0,442	0,85	0,279	0,4609	0,84	0,294	0,4275	0,83
A241	0,2943	0,4019	0,64	0,261	0,437	0,81	0,2604	0,5005	0,82	0,2669	0,4501	0,82	0,2719	0,4365	0,8
A231	0,2988	0,4285	0,86	0,312	0,407	0,87	0,2859	0,479	0,86	0,274	0,4991	0,87	0,2942	0,4436	0,87
A240	0,2947	0,4025	0,77	0,293	0,397	0,81	0,2859	0,4327	0,82	0,3087	0,3948	0,77	0,2954	0,4048	0,81
A239	0,2847	0,4726	0,9	0,31	0,423	0,81	0,2625	0,4808	0,93	0,2853	0,4811	0,9	0,2779	0,4725	0,91
A232	0,2167	0,4384	0,78	0,264	0,369	0,71	0,2385	0,4025	0,79	0,2352	0,3908	0,81	0,2379	0,4038	0,82
A227	0,368	0,3325	0,81	0,325	0,377	0,82	0,3396	0,3585	0,85	0,3586	0,3756	0,78	0,3561	0,3452	0,84
A229	0,2573	0,3813	0,68	0,26	0,413	0,72	0,2768	0,3881	0,75	0,3004	0,3224	0,65	0,2832	0,3617	0,71
RORAIMA															
A135	0,2792	0,4903	0,87	0,293	0,435	0,82	0,3084	0,3884	0,81	0,3141	0,4449	0,86	0,3027	0,4298	0,84

Anualmente para outros países como a Arábia Saudita Al-Mostafa et al. (2014) encontraram o valor dos coeficientes de 0,26 e 0,45, para a Itália Andrisani et al. (2014) encontraram o coeficiente linear de 0,20 a 0,21 e angular de 0,53, para a China Chen et al. (2004) encontraram 0,12 a 0,30 e 0,45 a 0,68 e Liu et al. (2012) encontraram 0,11 a 0,30 e 0,48 a 0,69 e Liu et al. (2010) encontraram 0,11 a 0,22 e 0,49 a 0,61, para a Turquia Duzen & Aydin (2012) encontraram de 0,26 a 0,49 e 0,11 a 0,37 e Güçlü et al. (2014) 0,19 a 0,25 e 0,33 a 0,50, para a Índia Srivastava & Pandey (2013) foi de 0,05 a 0,60 e 0,13 a 0,64, para o Irã Sabziparvar et al. (2013) foi de 0,15 a 0,30 e 0,42 a 0,69 e Mohammadi et al. (2016) foi de 0,31 a 0,35 e 0,27 a 0,32.

Os coeficientes do modelo de Angström-Prescott encontrados na literatura para as cidades de Sinop, Belém, Manaus e Macapá e os coeficientes presentes na Tabela 5 nota-

se uma certa similaridade, demonstrando que os modelos ajustados para as cidades da Amazônia podem ser utilizados para estimar a radiação global sem grandes erros.

As condições climáticas específicas de cada país é representada em cada coeficiente, onde por exemplo na Índia Srivastava & Pandey (2013) encontraram regiões com o coeficiente linear e angular baixo que foi de 0,05 e 0,13 que representa regiões com uma transmissividade atmosférica baixa em função de nuvens, particulados de poluição e aerossóis que interagem com a radiação e regiões com coeficientes linear e angular altos de 0,60 e 0,64 que representa uma alta transmissividade.

Na Tabela 6 está o erro relativo médio (MBE) nas diferentes interações para as cidades inseridas na Amazônia brasileira. No total o MBE para o agrupamento (t x t) apresentou um valor baixo que foi uma subestimativa de $-0,08 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, porém nos agrupamentos menores esses valores aumentam variando de $-1,37$ a $3,42 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ no (t x a) de $-2,33$ a $3,84$ (CS) $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ no (t x s). No modelo anual a interação (a x a) a amplitude foi de $-0,13$ a $0,11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ já em agrupamentos menores como (a x s), houve um aumento da amplitude de $-2,12$ a $0,63 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Sazonalmente houve um aumento do erro conforme se generaliza o modelo com (s x s) variando de $-0,31$ a $0,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. No geral, nota-se o aumento do erro quando utiliza-se o modelo mais abrangente em agrupamentos de dados menores, como por exemplo o total (t) validado no anual (a) e sazonal (s).

Para a cidade Sinop, que está localizada na transição do bioma Cerrado e a Amazônia o modelo total (t) estimando a radiação global no agrupamento total (t), anual (a) e sazonal (s) houve o aumento do erro, que são representados pelo (t x t) que foi de $-0,08 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, (t x a) foi para $-1,37 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e (t x s) que variou de $-1,64$ a $-0,89 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. No modelo anual (a) validado no agrupamento anual (a) e sazonal (s) representados pelo (a x a) foi de $-0,10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e o (a x s) de $-0,29$ a $0,25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Quando comparamos a interação (a x s) com erro de $-0,29$ a $0,25 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ em relação a (s x s) que foi de $-0,25$ a $0,09 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Para Sinop Pavão et al. (2018) encontraram o erro de 1,99, 2,01 e 1,95 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para os coeficientes anual, sazonal e mensal, já Martim et al. (2014) encontraram $-0,0242$, $-0,32$, $-0,13$, $-0,15$ e $-0,13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para anual, verão, outono, inverno e primavera.

Para Belém o modelo total (t) validado no agrupamento total (t), anual (a) e sazonal (s) que são representados pelas interações (t x t) foi de $-0,08 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para (t x

a) foi de 3,42 MJ m⁻² d⁻¹ e (t x s) de 2,81 a 3,84 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo anual (a) validado no agrupamento anual (a) e sazonal (s) que é representado por (a x a) foi de 0,08 MJ m⁻² d⁻¹ e para (a x s) foi de -0,20 a 0,66 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo sazonal (s) validado no agrupamento sazonal (s) representado por (s x s) foi de -0,01 a 0,30 MJ m⁻² d⁻¹.

Para Macapá o modelo total (t) validado nos agrupamentos total (t), anual (a) e sazonal (s) representado pelo (t x t) foi de -0,08 MJ m⁻² d⁻¹, (t x a) foi de -0,63 MJ m⁻² d⁻¹ e o (t x s) foi de -1,37 a -0,002 MJ m⁻² d⁻¹. O modelo anual (a) validado no agrupamento anual (a) e sazonal (s) representada interação (a x a) foi de 0,02 MJ m⁻² d⁻¹ e (a x s) de -0,14 a 0,18 MJ m⁻² d⁻¹. O agrupamento sazonal (s x s) foi de -0,10 a 0,08 MJ m⁻² d⁻¹.

Em outras cidades, Medeiros et al., (2017) encontraram o MBE variando de -0,093 a 1,11 e Silva et al., (2017) para anos típicos e atípicos foi de -0,52 a 0,19 MJ m⁻² d⁻¹.

Tabela 6. Erro relativo médio (MBE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-PreScott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	MBE															
	t x t	t x a	t x s				a x a	a x s				s x s				
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS	
ACRE																
A104	-0,08	-0,29	-0,21	-0,62	-0,27	-0,05	0,09	0,14	-0,21	0,13	0,31	0,09	-0,15	0,18	0,20	
AMAPÁ																
A249	-0,08	-0,63	-1,12	-1,37	-0,06	0,00	0,02	-0,14	-0,01	0,18	0,00	0,05	0,02	0,08	-0,10	
AMAZONAS																
A128	-0,08	-1,25	-1,17	-1,35	-1,03	-1,49	0,03	0,08	0,01	0,25	-0,25	0,08	0,15	0,08	-0,05	
A109	-0,08	-0,45	-0,23	-0,29	-0,83	-0,46	0,03	0,22	0,24	-0,35	0,00	0,35	0,02	-0,21	0,11	
A121	-0,08	0,87	0,87	0,82	1,10	0,68	0,07	0,30	0,08	0,14	-0,24	0,12	-0,22	0,16	0,23	
A111	-0,08	-0,52	0,17	-0,54	-1,24	-0,70	0,03	0,42	0,02	-0,39	-0,08	-0,13	0,33	-0,11	-0,08	
A101	-0,08	0,48	0,18	0,48	0,90	0,44	-0,02	-0,08	0,08	0,20	-0,25	0,02	-0,12	-0,01	0,06	
A123	-0,08	0,30	0,44	-0,34	0,60	0,41	0,10	0,53	-0,24	0,12	-0,07	-0,11	-0,02	0,26	0,13	
A134	-0,08	0,22	0,75	-0,31	0,31	0,32	-0,13	0,42	-0,62	-0,05	-0,05	-0,14	-0,31	-0,04	-0,01	
MATO GROSSO																
A917	-0,08	-1,37	-0,89	-1,42	-1,64	-1,47	-0,10	0,25	-0,08	-0,29	-0,26	0,09	-0,22	-0,25	-0,01	
PARÁ																
A201	-0,08	3,42	3,35	3,84	2,81	3,65	0,08	-0,18	0,03	-0,20	0,66	-0,01	0,02	0,01	0,30	
A236	-0,08	-0,50	-0,36	-0,35	-0,56	-0,79	0,03	0,10	0,16	0,05	-0,23	0,02	0,01	0,21	-0,10	
A241	-0,08	0,06	0,25	0,53	-0,47	-0,13	0,00	0,19	0,47	-0,54	-0,18	-0,03	0,07	0,04	-0,09	
A231	-0,08	-0,86	-0,77	-0,65	-0,90	-1,16	0,03	0,08	0,29	0,00	-0,29	-0,12	0,10	0,19	-0,12	
A240	-0,08	-0,24	-0,02	-0,07	-0,61	-0,29	-0,06	-0,10	0,14	-0,20	-0,06	-0,18	-0,09	-0,18	0,23	
A239	-0,08	-0,98	-1,36	-0,88	-0,75	-0,90	0,03	-0,28	0,26	0,16	-0,02	-0,05	0,09	-0,24	0,41	
A232	-0,08	2,07	1,88	2,26	1,93	2,12	0,11	-0,04	0,07	0,08	2,12	0,04	0,16	0,08	0,17	
A227	-0,08	-1,06	-0,79	-0,15	-1,07	-2,33	-0,07	-0,13	0,27	0,18	-0,58	-0,03	0,03	-0,16	-0,07	
A229	-0,08	0,98	1,68	1,02	0,54	0,80	-0,03	0,25	-0,07	-0,21	-0,06	-0,15	0,07	-0,05	-0,08	
RORAIMA																
A135	-0,08	-0,97	-1,12	-0,99	-0,43	-1,32	-0,04	-0,24	-0,06	0,52	-0,38	-0,01	-0,29	-0,10	0,29	

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

Analisando o RMSE para diferentes interações na Amazônia brasileira (Tabela 7), onde no agrupamento (t x t) o valor foi de 2,14 MJ m⁻² d⁻¹ porém quando avaliamos o

agrupamento menor (t x a) o erro varia de 1,50 a 6,98 MJ m⁻² d⁻¹ e em (t x s) de 1,13 a 4,39 MJ m⁻² d⁻¹. No (a x a) variou de 1,13 a 2,14 MJ m⁻² d⁻¹ já em agrupamentos menores como é o caso de (a x s) a variação foi de 0,96 a 2,83 MJ m⁻² d⁻¹. No agrupamento sazonal quando analisamos as quatro estações, a um padrão de aumentar o erro conforme se generaliza o modelo, por exemplo no (s x s) a variação foi de 0,76 a 2,35 MJ m⁻² d⁻¹, para (a x s) de 0,96 a 2,83 MJ m⁻² d⁻¹ e (t x s) de 1,13 a 4,39 MJ m⁻² d⁻¹.

Para Sinop no modelo total (t) o RMSE das interações (t x t) foi de 2,14 MJ m⁻² d⁻¹, (t x a) foi de 2,36 MJ m⁻² d⁻¹ e (t x s) variou de 1,52 a 2,87 MJ m⁻² d⁻¹. O modelo anual (a) na interação (a x a) foi de 1,91 MJ m⁻² d⁻¹ e (a x s) variou de 1,26 a 2,35 MJ m⁻² d⁻¹. O modelo ajustado sazonalmente (s) na interação (s x s) variou de 1,32 a 2,27 MJ m⁻² d⁻¹. Para a cidade de Sinop Pavão et al. (2018) encontraram 2,67, 2,68 e 2,64 MJ m⁻² d⁻¹ para o modelo anual, sazonal, mensal e Martim et al. (2014) encontraram 1,85, 2,14, 1,99, 1,65 e 1,83 MJ m⁻² d⁻¹ para o modelo anual, verão, outono, inverno e primavera respectivamente.

Na cidade de Belém foi encontrado os maiores valores do RMSE, onde no modelo total (t) as interações (t x t) foi de 2,14 MJ m⁻² d⁻¹, (t x a) foi de 4,03 MJ m⁻² d⁻¹ e (t x s) variou de 3,96 a 4,39 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo anual (a) as interações (a x a) foi de 2,06 MJ m⁻² d⁻¹ e (a x s) variou de 1,95 a 2,15 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo sazonal (s) a interação (s x s) variou de 1,94 a 2,07 MJ m⁻² d⁻¹.

Para Macapá o modelo total na interação (t x t) foi de 2,14 MJ m⁻² d⁻¹, (t x a) foi de 1,90 MJ m⁻² d⁻¹ e o (t x s) variou de 1,62 a 2,30 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo anual (a) a interação (a x a) foi de 1,56 MJ m⁻² d⁻¹ e a (a x s) variou de 1,00 a 2,07 MJ m⁻² d⁻¹. No modelo sazonal (s) a interação (s x s) variou de 0,76 a 2,07 MJ m⁻² d⁻¹.

O RMSE em outras cidades Medeiros et al., (2017) encontraram uma variação de 1,02 a 1,94 MJ m⁻² d⁻¹, Silva et al., (2017) para anos típicos e atípicos foi de 2,28 a 2,69 MJ m⁻² d⁻¹.

Tabela 7. Raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-PreScott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	RMSE															
	(t x t)	(t x a)	(t x s)				(a x a)	(a x s)				(s x s)				
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS	
ACRE																
A104	2,14	1,86	1,43	1,95	2,09	1,84	1,84	1,42	1,86	2,07	1,87	1,41	1,86	2,07	1,85	
AMAPÁ																
A249	2,14	1,90	1,66	1,62	1,97	2,30	1,56	1,39	1,00	1,64	2,07	1,27	0,76	1,66	2,07	
AMAZONAS																
A128	2,14	2,49	2,30	2,45	2,41	2,76	2,14	1,97	2,04	2,20	2,31	1,97	2,04	2,17	2,24	
A109	2,14	1,86	1,70	1,79	2,05	1,88	1,80	1,71	1,78	1,89	1,81	1,72	1,77	1,81	1,81	
A121	2,14	2,27	1,83	2,22	2,49	2,46	2,08	1,66	2,10	2,16	2,34	1,61	2,08	2,13	2,35	
A111	2,14	2,03	1,72	2,06	2,49	1,87	1,94	1,65	2,06	2,29	1,74	1,54	2,06	2,12	1,72	
A101	2,14	1,99	1,63	1,97	2,17	2,19	1,87	1,60	1,91	1,92	2,06	1,60	1,90	1,90	2,03	
A123	2,14	1,94	1,65	1,51	2,30	2,16	1,86	1,74	1,55	2,07	2,00	1,63	1,53	2,06	1,99	
A134	2,14	1,93	2,08	1,82	1,81	2,07	1,92	1,98	1,90	1,78	2,04	1,95	1,82	1,78	2,04	
MATO GROSSO																
A917	2,14	2,36	1,52	2,41	2,87	2,35	1,91	1,26	1,96	2,35	1,84	1,32	1,95	2,27	1,82	
PARÁ																
A201	2,14	4,03	3,96	4,39	3,46	4,24	2,06	2,06	1,95	2,15	2,05	2,06	1,94	2,07		
A236	2,14	1,50	1,25	1,43	1,68	1,67	1,42	1,21	1,39	1,60	1,50	1,20	1,38	1,59	1,45	
A241	2,14	1,81	1,31	2,02	2,13	1,67	1,81	1,30	2,00	2,15	1,67	1,29	1,95	2,02	1,68	
A231	2,14	1,76	1,32	1,52	2,07	2,05	1,53	1,08	1,41	1,85	1,70	1,09	1,36	1,80	1,60	
A240	2,14	6,98	1,13	1,74	1,99	1,76	1,68	1,11	1,72	1,90	1,72	1,12	1,71	1,90	1,74	
A239	2,14	1,50	1,67	1,25	1,40	1,66	1,13	1,01	0,96	1,20	1,33	0,97	0,89	1,23	1,38	
A232	2,14	2,77	2,56	2,90	2,71	2,83	1,81	1,69	1,77	1,89	2,83	1,73	1,75	1,89	1,94	
A227	2,14	2,07	1,54	1,16	2,04	3,13	1,49	1,18	1,06	1,55	2,05	1,19	1,05	1,54	1,96	
A229	2,14	2,10	2,33	2,21	1,87	2,01	1,78	1,58	1,98	1,79	1,71	1,57	1,95	1,76	1,70	
RORAIMA																
A135	2,14	1,91	2,11	1,72	1,59	2,17	1,65	1,82	1,40	1,60	1,77	1,77	1,43	1,47	1,74	

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

Na Tabela 8 índice de concordância de Willmott (d) diferente dos outros indicadores (MBE e RMSE), não apresentou uma diferença tão expressiva, com ressalva para a interação (t x t) que foi de 0,93. Belúcio et al., (2014) no estado do Amapá encontraram anualmente o índice de Willmott de 0,89 e Martim et al., (2014) com 0,9462, Medeiros et al., (2017) de 0,91 a 0,97, Pavão et al. (2018) foi de 0,86, 0,86 e 0,87 para o modelo anual, sazonal e mensal.

Tabela 8. Índice de concordância de Willmott (d) na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-PreScott nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	d														
	(t x t)	(t x a)	(t x s)				a x a	(a x s)				(s x s)			
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS
ACRE															
A104	0,93	0,95	0,95	0,94	0,93	0,94	0,95	0,96	0,95	0,93	0,94	0,95	0,93	0,94	
AMAPÁ															
A249	0,93	0,96	0,93	0,71	0,96	0,93	0,98	0,96	0,87	0,98	0,95	0,96	0,88	0,98	
AMAZONAS															
A128	0,93	0,92	0,92	0,93	0,92	0,90	0,94	0,94	0,95	0,93	0,93	0,94	0,95	0,93	
A109	0,93	0,93	0,94	0,94	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	
A121	0,93	0,94	0,93	0,93	0,94	0,92	0,95	0,94	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,96	
A111	0,93	0,93	0,92	0,94	0,89	0,93	0,93	0,92	0,93	0,90	0,94	0,92	0,93	0,92	
A101	0,93	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,96	
A123	0,93	0,96	0,95	0,96	0,94	0,94	0,97	0,95	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	
A134	0,93	0,94	0,92	0,95	0,94	0,94	0,95	0,93	0,95	0,95	0,94	0,93	0,95	0,95	
MATO GROSSO															
A917	0,93	0,90	0,88	0,90	0,90	0,90	0,93	0,92	0,93	0,93	0,93	0,90	0,93	0,94	
PARÁ															
A201	0,93	0,73	0,62	0,57	0,78	0,68	0,88	0,79	0,76	0,90	0,86	0,80	0,76	0,90	
A236	0,93	0,95	0,93	0,90	0,96	0,94	0,95	0,93	0,91	0,96	0,95	0,93	0,90	0,96	
A241	0,93	0,94	0,90	0,94	0,94	0,95	0,94	0,90	0,94	0,94	0,95	0,89	0,94	0,96	
A231	0,93	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	
A240	0,93	0,95	0,94	0,95	0,94	0,93	0,94	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,94	0,95	
A239	0,93	0,95	0,88	0,95	0,96	0,95	0,98	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,97	
A232	0,93	0,89	0,85	0,81	0,89	0,88	0,95	0,92	0,91	0,94	0,88	0,92	0,90	0,94	
A227	0,93	0,94	0,95	0,92	0,94	0,87	0,96	0,96	0,92	0,96	0,92	0,96	0,92	0,96	
A229	0,93	0,90	0,82	0,90	0,93	0,90	0,91	0,89	0,90	0,93	0,91	0,89	0,91	0,93	
RORAIMA															
A135	0,93	0,94	0,93	0,92	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,94	0,96	0,96	0,95	0,94	

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

Analisando os indicadores estatísticos (Tabela 6, 7 e 8) o modelo calibrado com o pior desempenho em relação ao melhor em ordem decrescente foi o total (t), seguido do anual (a) e sazonal (s), onde para a Amazônia a uma grande variabilidade espaço-temporal da precipitação regido pela grande área e sazonalidade, sendo assim o modelo sazonal é o mais indicado para a estimativa da radiação solar na Amazônia pois leva em consideração características microclimática de cada cidade.

. Diante de exposto, recomenda-se a utilização dos coeficientes da equação de Angström-PreScott ajustados sazonalmente para cada cidade na estimativa da radiação solar global, corroborando com o trabalho de Belúcio et al., (2014) e Medeiros et al., (2017) que encontraram forte correlação da radiação estimada pela equação calibrada anualmente e sazonalmente comparada com a medida nas estações meteorológicas.

3.6 CONCLUSÕES

Na estimativa da radiação global pelo modelo de Angström-Prescott calibrado no agrupamento total (t) houve baixa correlação, aumento no espalhamento e erro nas cidades localizadas no bioma amazônico.

Os modelos calibrados anualmente (a) e sazonalmente (s) obtiveram uma boa correlação, baixo espalhamento e erro.

Na estimativa da radiação global diária no bioma amazônico por meio do modelo de Angström-Prescott recomenda-se a utilização dos coeficientes ajustados anualmente, que foram de 0,2251 a 0,3561 (a), 0,3452 a 0,5277 (b).

Anualmente os indicativos estatísticos apresentaram subestimativas e superestimativas de -0,13 a 0,11 MJ m⁻² d⁻¹, espalhamentos de 0,07 a 3,28 MJ m⁻² d⁻¹ e índice de concordância de 0,86 a 0,98.

A estimativa da radiação global diária no bioma amazônico brasileiro por meio da equação de Angström-Prescott, apresenta o melhor desempenho estatístico quando empregados os modelos anuais calibrados, individualmente por estação meteorológica.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, Italy. 1998. 300 p.

AL-MOSTAFA, Z. A.; MAGHRABI, A. H.; AL-SHEHRI, S. M. Sunshine-based global radiation models: A review and case study. **Energy Conversion and Management**, v. 84, p. 209-216, 2014.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANDRISANI, A.; MADONIA, M.; TRANCOSI, M. Dumas relationships applied to two Italian sites. a comparison among various solar energy estimating formulas. **Energy Procedia**, v. 45, p. 342-351, 2014.

ANGSTROM, A. Solar and Terrestrial Radiation. **Quarterly of the Royal Meteorological Society**, v. 50, p. 121-126, 1924.

BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; HELDWEIN, A. B.; PRESTES, S. D.; HORN, J. F. C. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1563-1567, 2012.

CARVALHO, D. F.; SILVA, D. G.; SOUZA, A. P.; GOMES, D. P.; ROCHA, H. S. Coeficientes da equação de Angström-Prescott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 838-844, 2011.

CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v. 45, p. 1759-1769, 2004.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Coeficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 8, p. 1213-1219, 2006.

DUZEN, H.; AYDIN, H. Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). **Energy Conversion and Management**, v. 58, p. 35-46, 2012.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, v. 86, n. 3, p. 299-309, 2009.

GÜÇLÜ, Y. S.; YELEGEN, M. Ö.; DABANLI, I.; SISMAN, E. Solar irradiation estimations and comparisons by ANFIS, Angström-PreScott and dependency models. *Solar Energy*, v. 109, p. 118-124, 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Vegetação do Brasil. 2a ed. Rio de Janeiro, 1993.

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Canadá: Academic Press, 390 p. 1983.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. Estimativa da radiação solar global diária em Capitão Poço, PA através da equação de Angstrom. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais**. SBMET, 2002, 4p.

LIU, X.; XU, Y. ZHONG, X.; ZHANG, W.; PORTER, J. R.; LIU, W. Assessing models for parameters of the Angström-PreScott formula in China. **Applied Energy**, v. 96, p. 327-338, 2012.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; PORTER, J. R.; WANG, Q.; ZHANG, Y. Choice of the Angström-PreScott coefficients: are time-dependent ones better than fixed ones in modeling global solar irradiance. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 12, p. 2565-2574, 2010.

MARTIM, C. C.; SOUZA, A. P.; PAULINO, J.; ALMEIDA, F. T.; ARANTES, K. R. Coeficientes de Angström-PreScott para a Região Norte do Mato Grosso: Primeira aproximação. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLII, Campo Grande, 2014. **Anais**. Jaboticabal: SBEA, 2014. 10p.

MEDEIROS, F. J.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G. Calibration of Angström-PreScott equation to estimate daily solar radiation on Rio Grande do Norte State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 409-461, 2017.

MOTA, F. S.; BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C. Estimates of solar radiation in Brazil. **Agricultural Meteorology**, v. 18, n. 4, p. 241-254, 1977.

MOHAMMADI, K.; KRORASANIZADEH, H.; SHAMSHIRBAND, S.; TONG, C. W. Influence of introducing various meteorological parameters to the Angström-PreScott model for estimation of global solar radiation. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, n. 219, 2016.

MORF, H. Regression by Integration demonstrated on Angström-Prescott-type relations. **Renewable Energy**, v. 127, p. 713-723, 2018.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. Estimativa da radiação solar global diária em Capitão Poço, PA através da equação de Angstrom. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais. SBMET**, 2002, 4p.

PAVÃO, V. M.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, L. L.; SILVA, P. C. B. S. Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, n. 14, p. 1-17, 2018.

RIBEIRO, M. N. G.; SALATI, E.; NOVA, N. A. V.; DEMÉTRIO, C. G. B. Radiação solar disponível em Manaus (AM) e sua relação com a duração do brilho solar. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 2, p. 339-346, 1982.

SABZIPARVAR, A. A.; MOUSAVI, R.; MAROFI, S.; EBRAHIMIPAK, N. A.; HEIDARI, M. An improved estimation of the Angström-Prescott radiation coefficients for the FAO56 Penman-Monteith evapotranspiration method. **Water Resources Management**, v. 27, n. 8, p. 2839-2854, 2013.

SILVA, M. B. P.; ESCOBEDO, J. F.; SANTOS, C. M.; ROSSI, T. J.; SILVA, S. H. M. G. Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN Techniques to estimate the daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 160, p. 11-23, 2017.

SRIVASTAVA, B. C.; PANDEY, H. Estimating Angström-Prescott coefficients for India and developing a correlation between sunshine hours and global solar radiation for India. **Renewable Energy**, v. 2, n. 4, p. 1-7, 2013.

SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, C. M.; JUNIOR, R. A. F.; TIBA, C. LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M. Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using Sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 14, p. 35-45, 2016.

TIBA, C. Solar radiation in the Brazilian Northeast. **Renewable Energy**, v. 22, p. 565-578, 2001.

WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. Organização Mundial de Meteorologia. 2014. 1177p.

4.0 CAPÍTULO III – ESTIMATIVAS DA RADIAÇÃO GLOBAL COM BASE NA AMPLITUDE TÉRMICA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

4.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar estatisticamente equações simplificadas de estimativa da radiação global (Q_g) com base na amplitude térmica ($T_{max} - T_{min}$) em diferentes agrupamentos de dados na Amazônia brasileira. O modelo proposto por Bristow & Campbell ($Q_g/Q_o = a (1 - \text{EXP}(-b \Delta T^c))$) relaciona a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) como uma função exponencial da amplitude térmica (ΔT) e das constantes (a , b e c). Os dados de 71 estações meteorológicas (automáticas e convencionais) inseridas na Amazônia foram separados em agrupamentos total, anual e sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca) sendo 70% empregados na geração dos coeficientes e 30% para avaliação estatística do desempenho (com indicativos erro relativo médio – MBE; quadrado da raiz do erro médio – RMSE e índice de concordância de Willmott – d). De acordo com os índices estatísticos, o modelo ajustado no agrupamento sazonal apresentou menores variações de MBE, RMSE e d . Os coeficientes do modelo de Bristow & Campbell para a Amazônia brasileira no agrupamento total (t) apresentou alto espalhamento e baixa correlação, já o anual (a) e o sazonal (s) apresentaram coeficientes próximos, com baixo espalhamento e boa correlação, porém o coeficiente (a) anual é menor. Quanto mais abrangente o modelo, maior é o erro na estimativa da radiação em condições específicas. Com base nos índices estatísticos, recomenda-se o modelo de Bristow & Campbell calibrado anualmente para as cidades da Amazônia brasileira.

Palavras-chave: amplitude térmica, modelo de Bristow & Campbell, modelo simplificado, radiação solar.

GLOBAL RADIATION ESTIMATES BASED ON THERMAL EXPANSION IN BRAZILIAN AMAZON

4.2 ABSTRACT

The objective of this work was to calibrate and statistically evaluate simplified equations for estimating global radiation (Q_g) based on thermal amplitude ($T_{max} - T_{min}$) in different data groups for estimating global radiation in the Brazilian Amazon. The model

proposed by Bristow & Campbell ($Q_g / Q_o = a (1 - \text{EXP}(-b \Delta T^c))$) relates atmospheric transmittivity (Q_g/Q_o) as an exponential function of thermal amplitude (ΔT) and constants (a , b e c). The data from 71 meteorological stations (automatic and conventional) inserted in the Amazon were separated into total, annual and seasonal groups (drought, drought, rain and drought), 70% of which were used to generate the coefficients and 30% for statistical evaluation. Of performance (with indicative mean relative error - MBE; square of the root of the mean error RMSE and Willmott agreement index d). According to the statistical indices, the model adjusted in the seasonal grouping showed smaller variations in MBE, RMSE and d . The coefficients of the Bristow & Campbell model for the Brazilian Amazon in the total grouping (t) showed high spread and low correlation, whereas the annual (a) and the seasonal (s) showed close coefficients, with low spread and good correlation, however the annual coefficient (a) is lower. The more comprehensive the model, the greater the error in estimating radiation under specific conditions. Based on statistical indexes, the Bristow & Campbell model calibrated annually for cities in the Brazilian Amazon is recommended.

Keywords: thermal amplitude, Bristow & Campbell model, simplified model, solar radiation.

4.3 INTRODUÇÃO

A Amazônia que está inserida na zona tropical que engloba vários países da América do Sul como Bolívia, Guiana Francesa, Peru, Suriname, Guiana, Equador, Colômbia, Venezuela e Brasil com radiação e chuvas incidentes em boa parte do ano em função da sua posição privilegiada no globo terrestre. No Brasil a Amazônia ocupa três Regiões (Norte, Centro-Oeste e Nordeste) abrangendo da latitude 5° N a 15° S e longitude de 72° O a 44° O.

O Brasil quando comparado a outros países é limitado em informações meteorológicas tanto espacial quanto temporal, principalmente a radiação solar (Q_g) que é medida pelas estações meteorológicas automáticas, surgindo a necessidade de novos métodos para a obtenção desta variável meteorológica (LIMA et al. 2019). Vários trabalhos vem sendo publicados correlacionando a radiação solar com a insolação (ANGSTRÖM 1924, PRESCOTT 1940) e temperatura do ar (HANGREAVES & SAMANI 1985, BRISTOW & CAMPBELL 1984) entre outros que podem ser agrupados

em um único modelo ou separados dependendo somente da disponibilidade dos dados e precisão do modelo de estimativa da radiação global que são divididos basicamente em modelos empíricos e recente com a técnicas de aprendizagem de máquina (machine learning) respectivamente (VOYANT et al., 2017).

No bioma amazônico a uma variação espaço-temporal da temperatura em função do clima, balanço de energia e condições locais (solo, vegetação, relevo e etc) (SOUZA et al., 2017), aliado ao estudo de projeção climática para o Brasil de 2070 a 2099, que indica o aumento da temperatura em até 4,48 °C e mudanças na distribuição da precipitação com redução na região norte e nordeste (-8,62%) e aumento na região sul do país (Bender & Sentelhas 2018).

Vários são os modelos que utilizam a temperatura como variável de entrada para estimar a radiação solar, sendo que o mais utilizado e o de Bristow & Campbell. Estudos realizados vem provando que o modelo de Bristow & Campbell apresenta melhor desempenho quando comparado a outros modelos (LIMA et al., 2019; SOUZA et al., 2017; SILVA et al., 2018; Bender & Sentelhas 2018).

Bristow & Campbell (1984) provaram que existe a correlação exponencial entre a transmissividade atmosférica (Q_g/Q_o) e a amplitude térmica diária ($\Delta T = T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}$) sendo que o modelo possui três constantes (a, b e c) é descrito como $Q_g/Q_o = a(1 - \text{EXP}(-b \Delta T^c))$ e deve ser ajustado para cada região onde se deseja estimar a radiação. Para Bender & Sentelhas (2018) as estações com melhores desempenho na estimativa da radiação solar estão localizadas no sul e sudeste do Brasil, pois nessa região ocorre uma melhor correlação entre amplitude térmica diária e nebulosidade.

Os coeficientes do modelo de Bristow & Campbell já foram ajustados para vários países como para os EUA com Bristow & Campbell (1984) e Goodin et al., (1999), México com Quej et al., (2016), China com Liu et al., (2009) e Chen et al., (2004) e Itália Andrisani et al., (2014), já para o Brasil englobando a Amazônia tem para Mato Grosso com Souza et al., (2017) e Sinop – MT com Pavão et al., (2018) e outras regiões como no Rio de Janeiro com Lima et al., (2019), Botucatu-SP com Silva et al., (2018), Brasil com Bender & Sentelhas (2018) e Ramos et al., (2018), Minas Gerais com Silva et al., (2016a), Silva et al., (2016b), Silva et al., (2012a) e Silva et al., (2012b) e Alagoas com Santos et al., (2014).

Em função da inexistência de trabalhos na literatura que calibraram a equação de Bristow & Campbell para toda a Amazônia brasileira o presente trabalho tem como objetivo calibrar os coeficientes da equação de Bristow & Campbell para setenta e uma cidades inseridas na Amazônia brasileira em diferentes agrupamentos de dados.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos diários utilizados neste estudo foram oriundos das estações meteorológicas de superfície automática e convencionais (Figura 8) na escala diária localizadas no bioma amazônico brasileiro, pertencente a Rede de Estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET).

A Amazônia brasileira que está inserida na zona tropical apresenta segundo a classificação climática de Koppen com predominância climática Af (clima tropical úmido) e Am (clima de monções) e pequena parte Aw (clima tropical com estação seca de inverno), onde o Clima Tropical (A) representa 81% do território do Brasil (ALVARES et al., 2013).

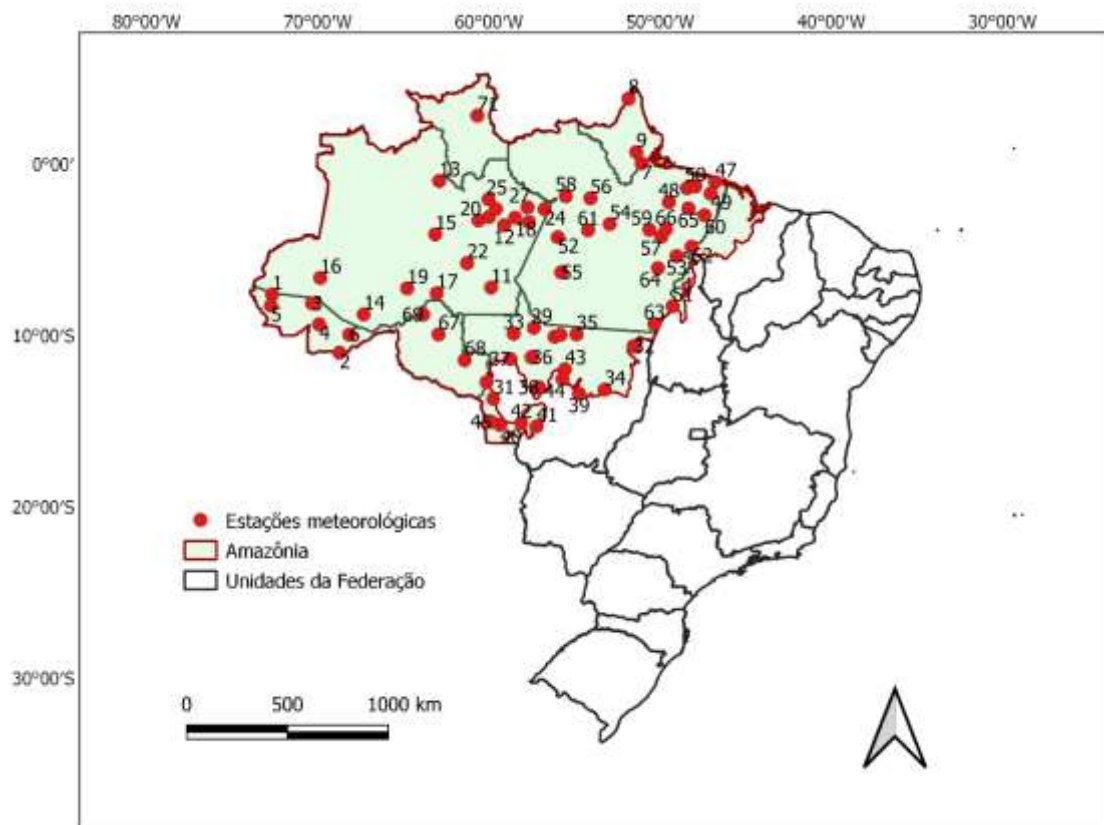


Figura 8. Localização das estações meteorológicas estudadas inseridas no bioma amazônico brasileiro. (Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1993).

A rede de estações meteorológicas automáticas (EMA's) inseridas no bioma amazônico que forneceram dados meteorológicos viáveis para este estudo está com 71 estações, que estão descritas na Tabela 9 como o estado de inserção, município, código da estação, latitude (Lat), longitude (Lon), altitude (Alt), período de dados, total de dados obtidos (TD) e o percentual de perdas (Per) em função dos filtros. A cobertura espacial das estações avaliadas é de -15,35 (Porto Estrela) a 3,81° (Oiapoque) que abrange 19,16° na latitude e -72,73 (Porto Walter) a -46,76° (Bragança) e ebrange 25,97° na longitude, a Alt das estações oscilaram de 17 (Barcelos) a 719 metros (Serra dos Carajás) abrangendo além de uma área considerável, várias condições de pressão atmosférica. A perda de dados chegou a 48,75% congruente com Bender & Sentelhas (2018) que chegaram até 46% para estações meteorológicas da rede INMET.

Tabela 9. Estações meteorológicas automáticas inseridas na Amazônia brasileira.

Código	Cidade	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período de dados	TD	PF (%)
ACRE							
A108	1 – Cruzeiro do Sul	-7,61	-72,66	220	05/2015 – 06/2018	1144	12
A140	2 – Epitaciolândia	-11,02	-68,73	217	09/2009 – 06/2018	3205	6,45
A138	3 – Feijó	-8,13	-70,33	163	09/2009 – 06/2018	3202	15,6
A102	4 – Parque Estadual Chandless	-9,35	-69,93	206	08/2008 – 06/2018	3617	42,9
A136	5 – Porto Walter	-8,26	-72,73	204	10/2009 – 06/2018	3167	18,9
A104	6 – Rio Branco	-9,95	-68,15	220	07/2008 – 06/2018	3642	26,21
AMAPÁ							
A249	7 – Macapá	0,035	-51,13	27	12/2013 – 06/2018	1662	27,3
A242	8 – Oiapoque	3,81	-51,85	19	09/2008 – 06/2018	3580	19,68
A244	9 – Porto Grande	0,69	-51,41	77	09/2008 – 12/2014	2297	1,82
A243	10 – Tartarugalzinho	1,48	-50,92	21	09/2008 – 06/2018	3584	26,7
AMAZONAS							
A113	11 – Apuí	-7,2	-59,88	168	08/2008 – 06/2018	3623	33
A120	12 – Autazes	-3,57	-59,12	28	04/2008 – 06/2018	3727	17,38
A128	13 – Barcelos	-0,98	-62,92	17	04/2008 – 06/2018	3725	25,92
A110	14 – Boca do Acre	-8,77	-67,32	111	07/2008 – 06/2018	3638	14,12
A117	15 – Coari	-4,08	-63,13	43	04/2008 – 06/2018	3732	12,1
A109	16 – Eirunepé	-6,65	-69,87	143	08/2012 – 06/2018	2130	40,35
A112	17 – Humaitá	-7,63	-63,07	72	04/2008 – 06/2018	3719	27,28
A121	18 – Itacoatiara	-3,12	-58,47	37	04/2008 – 06/2018	3723	22,96
A111	19 – Lábrea	-7,25	-64,78	64	07/2008 – 06/2018	3627	62,8
A119	20 – Manacapuru	-3,28	-60,62	19	04/2008 – 06/2018	3734	3,1
A101	21 – Manaus	-3,12	-59,95	67	05/2000 – 06/2018	6627	22,6
A133	22 – Manicoré	-5,8	-61,12	71	12/2011 – 06/2018	2393	8,31
A122	23 – Maués	-3,38	-57,66	35	04/2008 – 06/2018	3722	17,05
A123	24 – Parintins	-2,63	-56,75	35	04/2008 – 06/2018	3734	55,18
A126	25 – Presidente Figueiredo	-2,05	-60,02	92	04/2008 – 06/2018	3725	33,57
A125	26 – Riu Urubu	-2,42	-59,55	59	07/2008 – 06/2018	3657	5,24
A124	27 – Urucará	-2,53	-57,75	17	04/2008 – 06/2018	3727	6,52
MATO GROSSO							
A924	28 – Alta Floresta	-9,83	-56,1	289	06/2007 – 12/2017	3877	44,49
A910	29 – Apicás	-9,55	-57,38	220	11/2006 – 12/2017	4087	15,17
A926	30 – Carlinda	-10	-55,78	290	08/2008 – 12/2017	3555	3,12
A913	31 – Comodoro	-13,71	-59,76	577	12/2006 – 12/2017	4053	8,29
A918	32 – Confresa	-10,65	-51,57	237	07/2008 – 12/2017	3496	18,45
A919	33 – Cotriguaçu	-9,9	-58,57	261	05/2007 – 12/2017	3872	7,85
A930	34 – Gaúcha do Norte	-13,18	-53,25	379	06/2008 – 12/2017	3498	6,29
A906	35 – Guarantã do Norte	-9,95	-54,83	320	12/2002 – 12/2017	5492	36,41
A914	36 – Juara	-11,27	-57,52	260	11/2006 – 12/2017	4079	11,55
A920	37 – Juína	-11,37	-58,8	200	11/2006 – 12/2017	4057	10,15
A928	38 – Nova Maringá	-13,04	-57,08	353	04/2008 – 12/2017	3548	4,45
A929	39 – Nova Uiratã	-13,41	-54,75	518	04/2008 – 12/2017	3551	44,83
A937	40 – Pontes e Lacerda	-15,25	-59,33	256	02/2008 – 12/2017	3624	5,68
A935	41 – Porto Estrela	-15,35	-57,22	145	06/2008 – 12/2017	3504	17,03
A936	42 – Salto do Céu	-15,13	-58,1	303	02/2008 – 12/2017	3630	7,82
A917	43 – Sinop	-11,97	-55,55	371	11/2006 – 12/2017	4082	24,52
A904	44 – Sorriso	-12,55	-55,72	380	12/2002 – 12/2017	5495	42,89
A922	45 – Vila Bela da Santíssima Trindade	-15,05	-59,87	222	12/2006 – 12/2017	4049	9,38
PARÁ							
A201	46 – Belém	-1,4	-48,43	24	01/2003 – 12/2017	5460	39,58

A226	47 – Bragança	-1,06	-46,76	33	03/2008 – 12/2017	3583	15,37
A236	48 – Cametá	-2,23	-49,48	22	06/2008 – 12/2017	3480	14,94
A248	49 – Capitão Poço	-1,73	-47,05	81	04/2011 – 12/2017	2450	7,35
A202	50 – Castanhal	-1,3	-47,92	65	01/2003 – 12/2017	5456	48,75
A241	51 – Conceição do Araguaia	-8,25	-49,27	180	09/2008 – 12/2017	3406	4,75
A231	52 – Itaituba	-4,27	-56	131	02/2008 – 12/2017	3606	17,27
A240	53 – Marabá	-5,17	-49,37	116	07/2009 – 12/2017	3112	5,78
A209	54 – Medicilândia	-3,51	-52,95	251	02/2008 – 12/2017	3606	5,1
A246	55 – Mina Palito	-6,32	-55,78	261	10/2010 – 12/2017	2652	21,64
A239	56 – Monte Alegre	-2	-54,07	96	07/2012 – 12/2017	2005	21,44
A235	57 – Novo Repartimento	-4,25	-49,92	113	07/2008 – 12/2017	3449	9,8
A232	58 – Óbidos	-1,88	-49,12	96	07/2012 – 12/2017	2006	16,6
A210	59 – Pacajá	-3,83	-50,63	108	03/2008 – 12/2017	3596	25,72
A212	60 – Paragominas	-3	-47,33	101	10/2007 – 12/2017	3728	2,23
A211	61 – Placas	-3,87	-54,23	96	02/2008 – 12/2017	3609	13,35
A214	62 – Rondon do Pará	-4,78	-48,07	221	04/2008 – 12/2017	3546	1,78
A233	63 – Santana do Araguaia	-9,33	-50,35	168	06/2008 – 12/2017	3503	11,53
A230	64 – Serra dos Carajás	-6,07	-50,13	719	09/2008 – 12/2017	3407	11,3
A213	65 – Tomé Açu	-2,4	-48,15	38	10/2007 – 12/2017	3732	16,05
A229	66 – Tucuruí	-3,82	-49,67	148	03/2008 – 12/2017	3593	2,78
RONDÔNIA							
A940	67 – Ariquemes	-9,93	-62,95	140	07/2008 – 06/2018	3634	15,27
A939	68 – Cacoal	-11,43	-61,43	210	07/2008 – 06/2018	3633	5,17
A925	69 – Porto Velho	-8,75	-63,47	95	07/2007 – 06/2018	4008	11,8
A938	70 – Vilhena	-12,73	-60,15	590	09/2008 – 06/2018	3596	6,53
RORAIMA							
A135	71 – Boa Vista	2,82	-60,68	94	09/2010 – 06/2018	2865	4,78

TD (total de dados diários); PF (percentual de dados faltosos/sem consistência)

As condições meteorológicas das 71 estações utilizadas neste estudo (Figura 9) seguiram um padrão ao longo do ano, com as medidas de radiação global aumentando de $16 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ em fevereiro para $18,97 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ em setembro em função da baixa presença de nuvens e vapor d'água na atmosfera, as temperaturas máximas e mínimas tenderam a aumentar sua amplitude de $8,24 \text{ }^\circ\text{C}$ em fevereiro a $13,26 \text{ }^\circ\text{C}$ em agosto, em função da baixa presença de água no ambiente como exemplificado na umidade relativa do ar e precipitação com o menor valor em agosto de 62 mm mês^{-1} e maior em março com 311 mm mês^{-1} e acumulado no ano de 2221 mm ano^{-1} . Para condições brasileiras Bender & Sentelhas (2018) encontraram que o aumento da temperatura é mais acentuado no segundo semestre do ano com maior valor no mês de outubro.

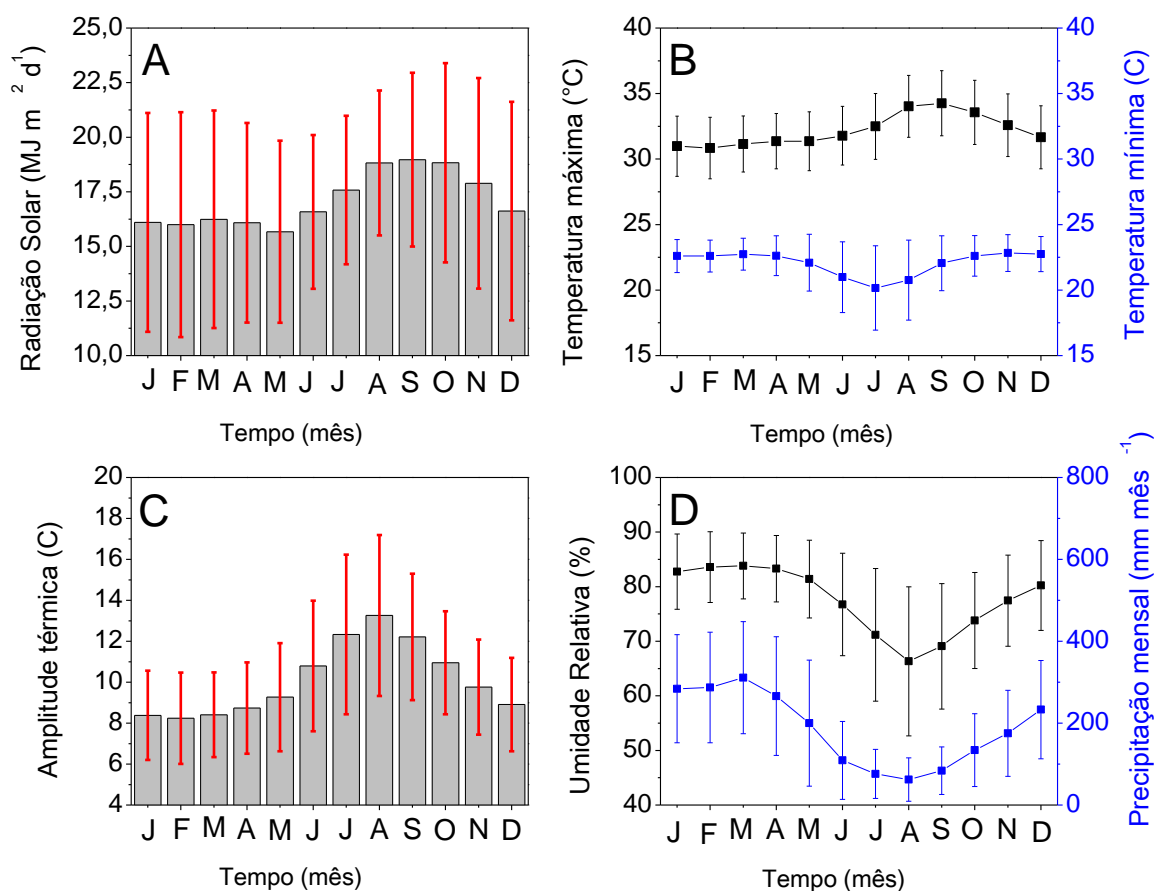


Figura 9. Média mensal e desvio padrão da Radiação global (A), temperatura máxima e mínima (B), amplitude térmica (C) e umidade relativa e precipitação (D) de 71 estações meteorológicas da Amazônia brasileira.

O modelo escolhido para o ajuste foi o de Bristow & Campbell (1984) em função da sua simplicidade e por ser amplamente utilizado e apresentar melhor desempenho quando comparado a outros modelos que também utilizam a temperatura (BENDER & SENTELHAS 2018). O modelo de Bristow & Campbell (Equação 23) estima a radiação global (Q_g) em função da radiação no topo da atmosfera (Q_o), as constantes do modelo (a , b e c) que são ajustadas localmente e a amplitude térmica diária ($\Delta T = T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}$) que representa as temperaturas extremas no decorrer de um dia (BRISTOW & CAMPBELL 1984).

$$\frac{Q_g}{Q_o} = a (1 - \exp(-b \Delta T^c)) \quad (23)$$

A radiação no topo da atmosfera (Q_o , $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) foi obtida pela Equação 24, distância relativa terra-sol (d_r , adimensional) pela Equação 25, declinação solar (δ , $^{\circ}$) pela

Equação 26 e o ângulo horário (Ho , °) pela Equação 27 propostas por Allen et al., (1998) e Iqbal (1983).

$$Q_o = 37,6 * dr * \left(\frac{\pi}{180} * Ho * \text{sen } \emptyset * \text{sen } \delta + \cos \emptyset * \cos \delta * \text{sen } Ho \right) \quad (24)$$

$$dr = 1 + 0,033 * \cos \left(\frac{360 * DJ}{365} \right) \quad (25)$$

$$\delta = 23,45 * \text{sen} \left[\frac{360}{365} (DJ + 284) \right] \quad (26)$$

$$Ho = \cos^{-1}(-\tan \emptyset * \tan \delta) \quad (27)$$

em que: π (π), sen (seno), latitude local (\emptyset , °), \cos (cosseno), DJ (ordenamento dos dias ao longo do ano), \tan (tangente).

A fim de eliminar dias com dados meteorológicos inconsistentes principalmente por falhas, foi realizado um filtro, onde a temperatura (T) ausente ou menor que zero, radiação solar (Qg) nula entre as 10 e 14 horas e transmissividade atmosférica (Qg/Qo) acima de 0,85 que foram deletados da base de dados (ESCOBEDO et al., 2009).

Após realizar o filtro, foi separado em ordem aleatória 70% dos dados diários para a calibração das constantes (a, b e c) e 30% para a validação (MBE, RMSE e d), da base de dados total (todos os dados), anual (total de cada cidade) e sazonal que foi dividido em chuva (dezembro, janeiro e fevereiro), transição chuva-seca (março, abril e maio), seca (junho, julho e agosto) e transição seca-chuva (setembro, outubro e novembro). As interações foram o modelo calibrado na agrupamento total (t) e validado no anual (t x a) e sazonal (t x s), modelo calibrado e validado anualmente (a x a) e sazonalmente (a x s) e calibrado e validado sazonalmente (s x s).

Na validação do modelo, empregou-se o erro relativo médio (MBE) e raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) e o índice de concordância de Willmott (d) que estão descritos nas equações 28, 29 e 30.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)}{N-1} \quad (28)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^N (|Pi - Oi| + |Oi - O|)^2} \right] \quad (30)$$

Onde: Pi é o valor estimado pelo modelo, Oi é o valor medido pela estação meteorológica, O é a média dos valores observados, N é o número de observações.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No agrupamento total (Figura 10) os coeficientes (a, b e c) foi de 0,5977, 0,0369 e 1,7099 e coeficiente de determinação (R^2) de 0,4719 respectivamente. Nota-se que os coeficientes do modelo ajustado no agrupamento total em comparação ao anual e sazonal é um valor intermediário, e quando utilizado pode incorrer em erros na estimativa da radiação global.

Quanto maior for a umidade do ar menor é a amplitude térmica, pois a uma necessidade maior de maior calor específico para aumentar a temperatura de uma massa de ar úmida em comparação a mesma massa de ar seco (LIMA et al., 2019), o que explica que a partir dos 15°C de amplitude a radiação tende a ser constante. Conforme observado por Bristow & Campbell (1984) partir de um dado valor de amplitude térmica, a transmissividade atmosférica tende a ficar constante, que segundo Lima et al. (2019) estudando regiões costeiras onde a umidade relativa é alta, a uma menor amplitude térmica anual bem como diária, quando comparado a regiões interioranas, em função do efeito marítimo/continental, indicando que na Figura 10 a amplitude acima de 15 °C é de dias de seca (junho, julho e agosto).

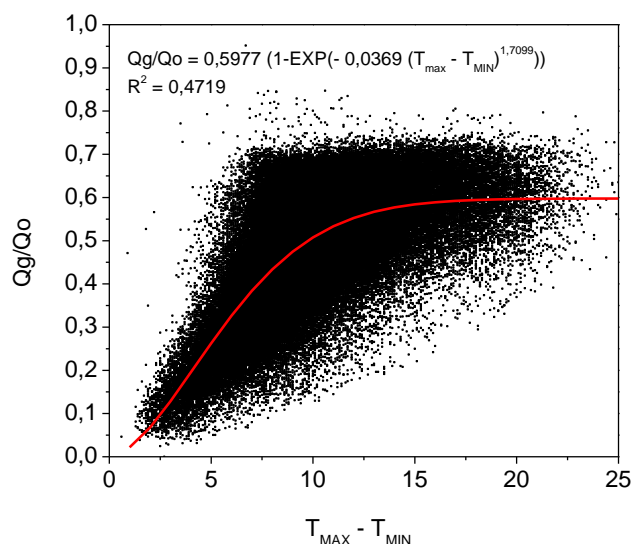


Figura 10. Calibração do modelo de Bristow & Campbell no agrupamento total para cidades inseridas na Amazônia brasileira.

A Tabela 10 apresenta os coeficientes da equação (a, b e c) de Bristow & Campbell calibrados bem como o coeficiente de determinação (R^2), para o agrupamento anual para

as cidades inseridas no bioma amazônico. No agrupamento anual houve uma variação do coeficiente (a) de 0,41 a 0,90; (b) de 0,009 a 0,057; (c) de 1,37 a 2,81 e (R^2) de 0,1966 a 0,7584. Em estudo, Souza et al., (2017) encontraram uma variação dos coeficientes nas diferentes EMA avaliadas, que é função da variação espaço-temporal da precipitação.

No modelo calibrado anualmente o coeficiente (a) foi no máximo a 0,90, já sazonalmente chegou a 1,54, 8,32, 16,92 e 17,65 para seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca indicando que as condições meteorológicas específicas sazonalmente gera coeficientes com baixa correlação entre as variáveis.

Para Sinop os coeficientes foram de 0,62, 0,025 e 1,81 com coeficiente de determinação de 0,42, onde para a mesma cidade Pavão et al. (2018) encontraram 0,7, 0,012, 2,11 e 0,43 e Souza et al. (2017) com 0,66, 0,099, 8,87 e 0,58.

Para algumas cidades do estado de Mato Grosso inseridas no bioma amazônico Souza et al., (2017) encontraram o coeficiente (a) variando de 0,558 (Guarantã do Norte) a 0,671 (Pontes e Lacerda), (b) de 0,016 (Alta Floresta) a 0,099 (Sinop) e (c) de 1,691 (Juara) a 8,568 (Sinop) e coeficiente de determinação (R^2) de 0,58 (Sinop) a 0,76 (Alta Floresta).

Para Marabá Bender & Sentelhas (2018) encontraram o valor de 0,75, 0,02 e de 1,92 e neste estudo (Tabela 11) para a mesma cidade foi encontrado 0,64, 0,02 e 1,94 para os coeficientes a, b e c.

Para outras regiões brasileiras Lima et al., (2019) encontraram os coeficientes (a) de 0,588 a 0,684, (b) de 0,007 a 0,884 e (c) de 0,347 a 2,441, Silva et al., (2018) foi de (a) 0,673, (b) 0,047 e (c) 1,602 e Bender & Sentelhas (2018) de (a) 0,75 a 0,77, (b) de 0,01 a 0,07 e (c) de 1,02 a 2,23, Silva et al. (2016 a) encontraram (a) de 0,674 a 0,789, (b) de 0,006 a 0,046 e (c) de 1,27 a 2,45 (c), Silva et al. (2016 b) encontraram (a) de 0,677 a 0,862, (b) de 0,012 a 0,039 e (c) de 1,304 a 1,997, Silva et al. (2012 a) encontraram (a) de 0,658 a 0,843, (b) de 0,009 a 0,027 e (c) de 1,607 a 2,312, Silva et al. (2012 b) de 0,707 a 0,747 (a), 0,007 a 0,016 (b) e 1,877 a 2,470 (c), Santos et al. (2014) de 0,580 a 0,887 (a), 0,018 a 0,103 (b) e 1,096 a 2,517 (c).

Tabela 10. Coeficientes do modelo de Bristow & Campbell ajustados nos agrupamentos anual para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.

Código	anual			R
	Coeficientes			
	a	b	c	
ACRE				
A108	0,738	0,037	1,474	0,6865
A140	0,627	0,021	1,863	0,6481
A138	0,616	0,033	1,736	0,6514
A102	0,692	0,023	1,668	0,6968
A136	0,661	0,026	1,731	0,6637
A104	0,625	0,028	1,816	0,6179
AMAPÁ				
A249	0,721	0,010	2,438	0,6803
A242	0,628	0,033	1,689	0,7584
A244	0,588	0,043	1,584	0,6332
A243	0,616	0,039	1,633	0,7015
AMAZONAS				
A113	0,575	0,026	1,759	0,5718
A120	0,624	0,017	1,989	0,6171
A128	0,627	0,016	2,056	0,6395
A110	0,579	0,029	1,743	0,6178
A117	0,634	0,019	1,967	0,5721
A109	0,629	0,026	1,726	0,6786
A112	0,509	0,014	2,188	0,3711
A121	0,555	0,016	2,39	0,4373
A111	0,588	0,019	2,005	0,638
A119	0,626	0,018	2,134	0,5897
A101	0,604	0,013	2,295	0,4951
A133	0,578	0,021	1,862	0,6035
A122	0,581	0,032	1,733	0,593
A123	0,629	0,014	2,473	0,6108
A126	0,897	0,025	1,38	0,659
A125	0,712	0,032	1,559	0,7331
A124	0,656	0,012	2,233	0,6978
MATO GROSSO				
A924	0,593	0,025	1,858	0,6386
A910	0,574	0,016	2,113	0,5396
A926	0,665	0,028	1,79	0,6224
A913	0,655	0,051	1,367	0,2755
A918	0,589	0,0152	2,088	0,5532
A919	0,484	0,038	1,645	0,55
A930	0,664	0,029	1,713	0,5481
A906	0,407	0,013	2,325	0,2312
A914	0,612	0,035	1,704	0,5294
A920	0,568	0,022	2,025	0,6079
A928	0,576	0,019	1,999	0,5894
A929	0,547	0,057	1,472	0,5123
A937	0,608	0,019	1,892	0,6159
A935	0,569	0,013	2,205	0,6123
A936	0,644	0,028	1,641	0,5335
A917	0,617	0,025	1,807	0,4213
A904	0,611	0,024	1,804	0,5415
A922	0,598	0,018	1,933	0,5356
PARÁ				
A201	0,508	0,012	2,279	0,2603

A226	0,643	0,015	2,202	0,5305
A236	0,607	0,009	2,738	0,2587
A248	0,571	0,018	2,115	0,3459
A202	0,571	0,031	1,753	0,3872
A241	0,656	0,022	1,785	0,5689
A231	0,637	0,011	2,368	0,6616
A240	0,645	0,021	1,938	0,5856
A209	0,683	0,048	1,514	0,5731
A246	0,622	0,039	1,609	0,6903
A239	0,641	0,009	2,805	0,4494
A235	0,631	0,034	1,637	0,3619
A232	0,58	0,012	2,071	0,5293
A210	0,527	0,032	1,873	0,3139
A212	0,613	0,031	1,824	0,4364
A211	0,557	0,027	1,857	0,5759
A214	0,647	0,023	1,75	0,5163
A233	0,595	0,013	2,09	0,5724
A230	0,474	0,022	2,527	0,1966
A213	0,594	0,044	1,652	0,4105
A229	0,567	0,050	1,736	0,3304
RONDÔNIA				
A940	0,622	0,034	1,682	0,5891
A939	0,595	0,028	1,81	0,5833
A925	0,588	0,031	1,764	0,5881
A938	0,659	0,024	1,767	0,5052
RORAIMA				
A135	0,656	0,018	2,009	0,6075

Para outros países como no México Quej et al. (2016) encontraram os coeficientes variando de 0,712 a 0,840 (a), 0,023 a 0,330 (b) e 0,630 a 1,731 (c), para os EUA Goodin et al. (1999) de 0,68, 0,013 e 2,03, para a Itália Andrisani et al. (2014) de 0,550 a 0,920 (a), 0,01 a 0,06 (b) e 0,28 a 2,62 (c), para a China Liu et al. (2009) foi de 0,613 a 0,836 (a), 0,011 a 0,041 (b) e 1,370 a 2,60 (c) e Chen et al. (2004) foi de 0,51 a 3,19 (a), 0,01 a 0,14 (b) e 0,28 a 2,62 (c).

A Tabela 11 mostra os coeficientes da equação de Bristow & Campbell ajustados bem como coeficiente de determinação, para o agrupamento sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca) para cidades inseridas na Amazônia brasileira. Houve uma variação nos coeficientes (a) de 0,48 a 1,54; 0,44 a 8,32; 0,50 a 16,92 e 0,47 a 17,65 coeficiente (b) de 0,001 a 0,26; 0,001 a 0,24; 0,001 a 0,08; 0,001 a 0,05; coeficiente (c) de 0,31 a 5,86; 0,53 a 3,57; 0,82 a 2,74; 0,71 a 2,66 e coeficiente de determinação (R^2) de 0,1038 a 0,7208; 0,1342 a 0,7432; 0,3442 a 0,7743 e 0,1799 a 0,7717 para a estação seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca respectivamente. Houve influência sazonal na correlação entre a radiação global e a amplitude térmica, onde na média o coeficiente de determinação (R^2) foi de $0,43 \pm 0,16$, $0,49 \pm 0,14$, $0,63 \pm 0,10$ e $0,59 \pm 0,12$ para seca, seca-chuva,

chuva e chuva-seca, onde o modelo ajustado na estação seca (junho, julho e agosto) apresentou um menor coeficiente de determinação médio com maior desvio padrão nas cidades quando comparado a chuva (dezembro, janeiro e fevereiro) para a Amazônia brasileira.

Tabela 11. Coeficientes (a, b e c) e coeficiente de determinação (R^2) do modelo de Bristow & Campbell ajustados nos agrupamentos, sazonal (seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca) para as cidades inseridas na Amazônia brasileira.

Código	seca				seca – chuva				chuva				chuva – seca			
	Coeficientes			R	Coeficientes			R	Coeficientes			R	Coeficientes			R
	a	b	c		a	b	c		a	b	c		a	b	c	
ACRE																
A108	0,59	0,05	1,65	0,6799	0,76	0,02	1,65	0,6996	3,03	0,01	1,14	0,6863	0,71	0,05	1,40	0,677
A140	0,63	0,02	1,83	0,5639	0,60	0,01	2,09	0,6559	0,92	0,03	1,39	0,7028	0,78	0,03	1,63	0,6999
A138	0,62	0,04	1,72	0,6174	0,61	0,03	1,82	0,5936	1,22	0,04	1,17	0,6968	0,74	0,03	1,62	0,7306
A102	0,72	0,05	1,39	0,7208	0,67	0,02	1,82	0,7432	1,70	0,02	1,22	0,6468	2,05	0,01	1,31	0,5946
A136	0,62	0,02	2,01	0,6792	0,67	0,02	1,71	0,6303	1,66	0,02	1,22	0,7281	1,34	0,03	1,28	0,7078
A104	0,63	0,04	1,71	0,4898	0,58	0,02	2,02	0,5569	1,37	0,03	1,14	0,6738	0,82	0,03	1,65	0,7009
AMAPÁ																
A249	0,68	0,02	2,45	0,528	0,69	0,24	1,21	0,1342	0,68	0,01	2,51	0,6157	0,78	0,03	1,82	0,6602
A242	0,78	0,05	1,34	0,6755	8,31	0,02	0,53	0,4506	0,74	0,05	1,35	0,7522	0,74	0,02	1,72	0,7717
A244	0,66	0,05	1,42	0,5226	0,61	0,02	1,89	0,297	0,58	0,06	1,41	0,6413	1,36	0,03	1,20	0,6875
A243	0,66	0,02	1,83	0,6542	0,60	0,002	2,74	0,3069	0,62	0,05	1,53	0,6736	17,02	0,002	1,11	0,6496
AMAZONAS																
A113	0,56	0,03	1,79	0,1038	0,60	0,03	1,68	0,5942	0,86	0,03	1,39	0,6816	0,82	0,03	1,41	0,6299
A120	0,62	0,01	2,30	0,5056	0,65	0,01	2,10	0,6682	0,73	0,02	1,67	0,6946	1,06	0,02	1,55	0,6215
A128	0,64	0,02	1,98	0,6265	0,64	0,01	2,32	0,6025	0,61	0,02	2,05	0,6455	0,67	0,02	1,96	0,6741
A110	0,56	0,04	1,67	0,4806	0,63	0,02	1,77	0,6366	1,31	0,03	1,23	0,6694	0,70	0,04	1,43	0,5929
A117	0,66	0,03	1,72	0,5683	0,64	0,02	1,94	0,5733	0,75	0,03	1,68	0,6014	0,77	0,02	1,83	0,6439
A109	0,60	0,03	1,73	0,6436	0,73	0,03	1,54	0,6175	0,63	0,02	1,81	0,7454	0,64	0,03	1,73	0,6589
A112	0,49	0,01	2,52	0,1125	0,52	0,02	2,09	0,3324	0,77	0,03	1,58	0,6517	0,63	0,03	1,56	0,3796
A121	0,70	0,10	1,28	0,3689	0,55	0,04	1,77	0,168	0,60	0,01	2,28	0,6525	0,66	0,02	2,18	0,6686
A111	0,58	0,02	1,96	0,5639	0,62	0,01	2,08	0,6283	0,80	0,02	1,63	0,7052	0,72	0,03	1,72	0,6425
A119	0,64	0,02	2,18	0,5585	0,61	0,01	2,25	0,5452	0,73	0,02	1,81	0,6522	0,70	0,02	1,89	0,6086
A101	0,61	0,01	2,51	0,4702	0,61	0,01	2,41	0,469	0,56	0,02	2,08	0,4714	0,61	0,01	2,26	0,5335
A133	0,57	0,04	1,62	0,4152	0,58	0,02	1,86	0,6111	0,77	0,02	1,55	0,6532	1,22	0,03	1,26	0,6032
A122	0,56	0,01	2,23	0,4314	0,58	0,02	1,83	0,478	0,61	0,05	1,48	0,6416	0,74	0,04	1,47	0,6364
A123	0,62	0,03	2,24	0,4907	0,62	0,002	3,57	0,5003	0,76	0,01	2,19	0,6754	0,58	0,01	2,66	0,6355
A126	0,79	0,03	1,43	0,6522	0,73	0,01	1,76	0,6533	16,92	0,002	1,13	0,6729	17,65	0,002	1,15	0,6082
A125	0,74	0,04	1,49	0,643	0,66	0,01	1,97	0,6992	0,97	0,03	1,34	0,7425	0,89	0,03	1,39	0,7327
A124	0,67	0,01	2,23	0,6498	0,65	0,004	2,61	0,625	0,69	0,01	2,06	0,7451	0,68	0,02	2,03	0,6638
MATO GROSSO																
A924	0,61	0,11	1,20	0,331	0,57	0,02	2,12	0,5512	1,08	0,04	1,22	0,7378	0,61	0,03	1,77	0,6881
A910	0,56	0,02	2,23	0,1642	0,55	0,02	2,10	0,5152	0,88	0,03	1,38	0,7473	0,89	0,03	1,50	0,7451
A926	0,67	0,02	2,02	0,4233	0,60	0,01	2,25	0,6215	1,00	0,05	1,24	0,7444	0,73	0,03	1,78	0,6317
A913	0,68	0,04	1,48	0,3074	0,53	0,01	2,19	0,2166	1,93	0,04	0,89	0,4181	0,77	0,05	1,33	0,5269
A918	0,61	0,01	2,19	0,1672	0,54	0,01	2,24	0,4605	0,80	0,03	1,58	0,7214	0,61	0,01	2,13	0,5823
A919	0,48	0,003	5,86	0,4512	0,47	0,04	1,59	0,4642	8,12	0,01	0,82	0,5321	0,60	0,03	1,62	0,5543
A930	0,68	0,01	2,05	0,4074	0,61	0,03	1,73	0,5111	0,77	0,04	1,42	0,7099	0,73	0,02	1,77	0,6145
A906	1,17	0,04	0,80	0,2625	0,44	0,01	2,29	0,2579	2,02	0,02	1,15	0,6375	1,59	0,03	0,90	0,1799
A914	0,62	0,01	2,08	0,3588	0,56	0,03	1,93	0,4184	0,89	0,05	1,27	0,6374	0,70	0,03	1,63	0,6407
A920	0,56	0,07	1,42	0,2953	0,59	0,02	2,09	0,5784	1,11	0,04	1,20	0,6875	0,63	0,03	1,82	0,6576
A928	0,56	0,003	2,77	0,3788	0,58	0,02	1,91	0,5845	0,61	0,03	1,77	0,6462	0,62	0,02	1,93	0,5817
A929	0,56	0,002	2,99	0,5521	0,48	0,03	1,80	0,5722	0,60	0,04	1,68	0,6124	6,75	0,01	0,71	0,6214
A937	0,59	0,02	1,93	0,5122	0,61	0,02	1,88	0,5562	0,74	0,03	1,50	0,6322	0,74	0,03	1,61	0,6182
A935	0,56	0,02	2,03	0,5074	0,55	0,01	2,10	0,5835	0,78	0,03	1,56	0,7119	0,67	0,02	1,84	0,6815

A936	0,64	0,05	1,46	0,5753	0,64	0,03	1,53	0,4915	1,14	0,03	1,26	0,6022	0,77	0,03	1,55	0,6318
A917	0,64	0,003	2,57	0,1665	0,56	0,02	1,94	0,3933	0,60	0,03	1,86	0,5108	0,66	0,01	2,12	0,5664
A904	0,62	0,01	2,03	0,4729	0,57	0,02	1,88	0,487	0,83	0,04	1,34	0,684	0,69	0,02	1,81	0,5757
A922	0,60	0,01	2,19	0,4634	0,59	0,01	2,09	0,5226	0,76	0,03	1,58	0,5816	0,64	0,03	1,72	0,495
PARÁ																
A201	0,50	0,001	3,49	0,1787	0,51	0,06	1,57	0,4435	0,56	0,03	1,72	0,3889	0,60	0,04	1,53	0,3576
A226	0,59	0,01	2,56	0,4193	0,61	0,02	2,33	0,2903	0,61	0,01	2,47	0,5343	2,95	0,01	1,16	0,4829
A236	0,61	0,02	2,69	0,1264	0,62	0,06	1,93	0,2568	0,57	0,01	2,74	0,3443	0,62	0,01	2,55	0,3443
A248	0,61	0,01	2,64	0,4189	0,71	0,13	0,96	0,1992	0,58	0,08	1,31	0,4203	3,16	0,02	0,97	0,4006
A202	0,54	0,002	3,30	0,3242	0,74	0,11	0,96	0,2946	0,62	0,07	1,26	0,4117	10,43	0,01	0,90	0,4727
A241	0,66	0,02	1,86	0,4216	0,63	0,03	1,69	0,5683	0,83	0,03	1,43	0,6145	0,71	0,02	1,81	0,6269
A231	0,65	0,004	2,84	0,6152	0,64	0,01	2,22	0,5943	0,64	0,01	2,41	0,6957	0,75	0,02	1,93	0,6926
A240	0,65	0,03	1,85	0,5066	0,65	0,04	1,61	0,5433	0,72	0,03	1,74	0,6547	0,67	0,02	2,09	0,5512
A209	0,73	0,08	1,29	0,4067	0,59	0,02	2,12	0,4796	0,67	0,05	1,47	0,6068	0,73	0,05	1,43	0,6044
A246	0,57	0,02	2,00	0,388	0,68	0,04	1,54	0,7006	2,28	0,02	1,05	0,7743	1,09	0,03	1,32	0,7022
A239	0,66	0,01	3,23	0,4521	0,66	0,02	2,40	0,3765	0,66	0,03	2,07	0,5576	0,66	0,01	2,62	0,4924
A235	0,63	0,02	2,03	0,3506	0,66	0,04	1,46	0,456	0,55	0,03	1,86	0,4383	0,54	0,01	2,53	0,3655
A232	0,54	0,01	2,45	0,3215	0,56	0,01	2,58	0,3093	0,52	0,01	2,35	0,5929	0,52	0,02	1,86	0,3333
A210	0,69	0,26	0,69	0,2018	0,59	0,08	1,21	0,2177	0,54	0,02	1,98	0,6476	0,59	0,02	2,11	0,5438
A212	0,63	0,05	1,66	0,3062	0,90	0,09	0,96	0,4176	0,60	0,03	1,90	0,4992	0,65	0,02	1,98	0,4851
A211	0,56	0,01	2,43	0,3189	0,56	0,04	1,59	0,4388	0,61	0,03	1,64	0,6374	0,75	0,03	1,57	0,6725
A214	0,69	0,03	1,57	0,3457	0,62	0,01	1,99	0,5409	0,70	0,02	1,66	0,6062	0,65	0,02	1,96	0,4822
A233	0,61	0,002	2,83	0,3236	0,56	0,02	2,00	0,5175	0,79	0,03	1,53	0,7016	0,70	0,02	1,87	0,7086
A230	0,52	0,01	5,32	0,1622	0,49	0,03	2,16	0,3287	0,50	0,06	1,73	0,4407	0,47	0,03	2,38	0,2424
A213	1,26	0,14	0,60	0,3523	0,78	0,09	1,00	0,3665	0,62	0,04	1,56	0,6137	0,74	0,05	1,39	0,4826
A229	1,54	0,22	0,31	0,116	0,58	0,02	2,00	0,3835	0,55	0,03	1,99	0,577	0,53	0,03	2,11	0,4076
RONDÔNIA																
A940	0,63	0,04	1,64	0,4551	0,6	0,036	1,7	0,5151	0,86	0,04	1,38	0,6766	0,75	0,03	1,56	0,6458
A939	0,60	0,02	1,97	0,4255	0,6	0,019	2,0	0,516	0,93	0,04	1,33	0,6909	0,67	0,03	1,66	0,6398
A925	0,59	0,05	1,60	0,3873	0,6	0,017	2,1	0,5652	1,55	0,03	1,13	0,7003	0,74	0,04	1,48	0,588
A938	0,64	0,02	1,88	0,3329	0,6	0,024	1,7	0,4953	1,07	0,03	1,34	0,6836	0,77	0,02	1,71	0,5714
RORAIMA																
A135	0,79	0,03	1,76	0,6977	0,63	0,002	3,04	0,5201	0,65	0,02	1,87	0,3981	0,68	0,02	2,03	0,6705

Para Sinop Pavão et al. (2018) encontraram o coeficiente (a) 0,7 e 0,7, (b) 0,004 e 0,046 e (c) 1,45 e 2,36 com coeficiente de determinação (R^2) de 0,46 e 0,35 para a seca (maio a setembro) e chuva (outubro a abril), onde segundo a Tabela 10 os coeficientes (a) foram de 0,64, 0,56, 0,60 e 0,66, o (b) foi de 0,003, 0,02, 0,03 e 0,01, o (c) foi de 2,57, 1,94, 1,86 e 2,12 e o coeficiente de determinação (R^2) de 0,17, 0,39, 0,51 e 0,57 na seca, seca-chuva, chuva e chuva-seca.

Em estudo Lima et al., (2019) encontraram maior valor do coeficiente (a) em regiões com baixa precipitação que contém poucas nuvens, pois segundo Bristow & Campbell (1984) o coeficiente (a) representa a transmissividade máxima para o local, porém para as cidades avaliadas sazonalmente

Sazonalmente (Tabela 11) o coeficiente (a) do modelo de Bristow & Campbell para 4, 3, 34 e 21% das cidades na estação seca, seca-chuva, chuva e chuva seca ficaram acima de 0,85 que é o valor máximo de transmissividade segundo Escobedo et al. (2009) pois segundo Bristow & Campbell (1984) o coeficiente (a) representa a transmissividade atmosférica máxima, onde para Tucuruí (Figura 10) que obteve o maior coeficiente (1,54)

e pior desempenho entre as cidades avaliadas na estação seca, onde na amplitude de 1 e 25 °C a transmissividade foi de 0,30 e 0,69 e em média nas outras estações foi de 0,02 e 0,56, e na estação da chuva o maior valor foi de 16,92 para a cidade de Presidente Figueiredo (Figura 11) e para a amplitude térmica de 1 °C a transmissividade foi de 0,02 em média para todas as estações e a 25 °C os valores foram de 1,24 e 1,37 para a estação da chuva e chuva-seca e 0,74 em média nas outras estações.

Embora as estações seca e chuva tenham o valor do coeficiente (a) alto, a seca de Tucuuruí o coeficiente de determinação foi de 0,116 e na chuva para Presidente Figueiredo foi de 0,6729, pois segundo Lima et al. (2019) regiões costeiras onde a umidade relativa do ar é alta, o calor específico do ar é maior, o que resulta em uma menor amplitude térmica diária, o que explica o melhor desempenho dos modelos na estação da chuva. Regiões com condições meteorológicas severas de seca ou chuva na calibração dos modelos leva a geração de coeficientes (a) altos.

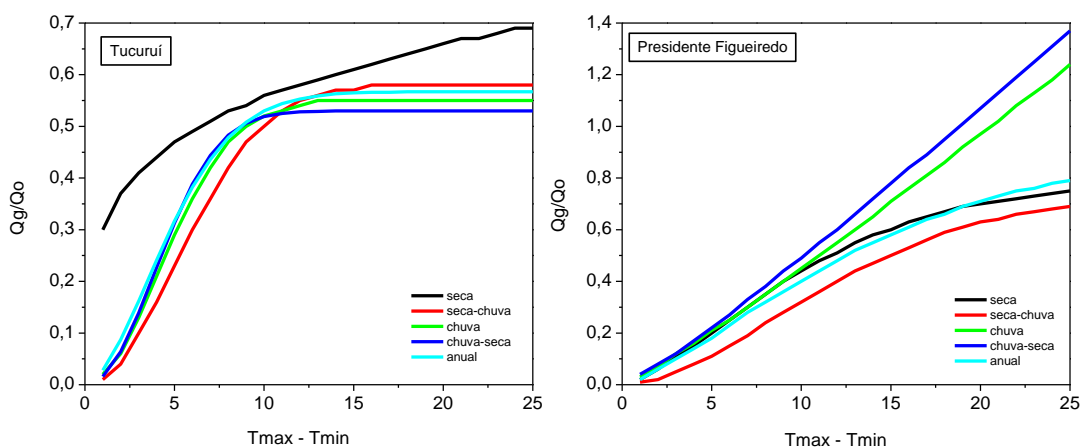


Figura 11. Modelo de Bristow & Campbell ajustado para a cidade de Tucuuruí e Presidente Figueiredo na estação seca, seca-chuva, chuva, chuva-seca e anual.

Para a Chen et al. (2004) analisando 48 cidades na China encontraram para as cidades de Chongqing, Xian e Geer (Figura 12) valores dos coeficientes (a) do modelo de Bristow & Campbell altos com 3,19, 2,35 e 1,02 que fisicamente significa transmissividade máxima de 319, 235 e 102% o que gerou modelos inconsistentes com superestimativas e subestimativas quando comparado por exemplo a cidade de Heihe com coeficiente de 0,60 que significa a transmissividade máxima em 60% a 18 °C de amplitude térmica.

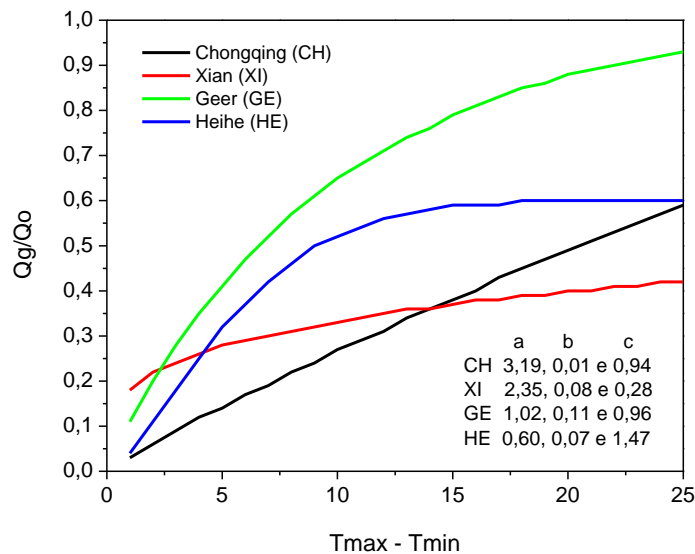


Figura 12. Modelo de Bristow & Campbell calibrado por Chen et al. (2004) para a China nas cidades de Chongqing, Xian, Geer e Heihe (Extraído e Adaptado de Chen et al. (2004)).

Analisando o erro relativo médio (MBE) em diferentes agrupamentos de dados na Tabela 12 o agrupamento total a interação (t x t) foi de $-0,08 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ que é um valor baixo, porém quando analisamos em interações menores o erro tende a aumentar como (t x a) variando de $-5,72$ a $5,43 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e (t x s) de $-7,40$ a $7,37 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. No agrupamento anual de dados a interação (a x a) variou de $-0,35$ a $0,27$ porém quando se analisa a interação menor (a x s) a um aumento na amplitude do erro de $-2,60$ a $2,14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. No agrupamento sazonal a interação (s x s) que ficou com amplitude de $-0,82$ a $0,47 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Para cidades do estado de Mato Grosso Souza et al., (2017) avaliando o modelo anual encontraram subestimativas de $-2,45 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Nova Maringá) a superestimativas de $0,84 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Alta Floresta) no referido estudo (Tabela 12) o erro foi de $-0,03 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para Alta Floresta e $-0,14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para Nova Maringá. Em Sinop Sazonalmente Pavão et al. (2018) encontraram um erro de $2,56$, $2,72$ e $2,67 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para o modelo

Tabela 12. Erro relativo médio (MBE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	MBE (MJ m ⁻² d ⁻¹)														
	(t x t)	(t x a)	(t x s)				(a x a)	(a x s)				(s x s)			
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS
ACRE															
A108	-0,08	0,09	-0,82	0,01	0,81	0,19	-0,35	-0,89	-0,25	0,10	-0,48	-0,20	-0,40	-0,34	-0,23
A140	-0,08	0,32	-0,80	1,51	0,76	-0,28	-0,19	-0,63	1,24	-0,35	-1,06	-0,38	0,17	-0,18	-0,24
A138	-0,08	-0,19	-0,42	0,76	0,02	-1,08	-0,01	-0,11	1,05	0,08	-0,98	-0,02	0,08	0,09	-0,10
A102	-0,08	1,13	0,09	1,09	1,79	1,30	-0,08	-0,05	0,49	-0,29	-0,55	0,29	-0,02	-0,28	0,02
A136	-0,08	0,30	-0,39	1,15	0,91	-0,42	-0,06	-0,24	1,02	0,08	-1,05	0,04	0,15	-0,12	-0,04
A104	-0,08	-0,42	-1,25	0,11	0,16	-0,94	0,05	-0,62	0,78	0,45	-0,62	0,17	0,14	0,15	-0,06
AMAPÁ															
A249	-0,08	-5,02	-6,24	-7,10	-3,64	-3,30	-0,32	-1,33	-1,18	0,73	0,27	-0,01	0,08	-0,82	-0,06
A242	-0,08	0,20	-0,89	0,08	0,82	0,61	-0,04	-1,16	0,28	0,39	0,14	-0,03	0,04	-0,08	-0,04
A244	-0,08	1,00	0,12	1,47	1,84	0,42	-0,04	-0,94	0,41	0,83	-0,58	-0,05	0,09	-0,09	-0,02
A243	-0,08	0,26	-0,19	0,60	0,58	-0,24	0,04	-0,42	0,56	0,28	-0,59	0,11	0,12	0,11	-0,12
AMAZONAS															
A113	-0,08	2,05	1,31	2,64	2,50	1,46	-0,02	-0,14	0,58	0,08	-0,77	-0,11	0,04	0,04	0,04
A120	-0,08	0,36	-1,06	1,08	1,42	0,09	-0,02	-1,17	1,15	0,72	-0,75	-0,07	-0,03	0,17	0,10
A128	-0,08	-0,34	-1,45	0,31	0,35	-0,62	-0,07	-1,23	0,94	0,65	-0,62	-0,26	0,22	0,31	-0,45
A110	-0,08	1,41	1,44	1,67	1,62	0,89	0,10	0,48	0,35	0,06	-0,48	0,11	0,05	0,32	-0,08
A117	-0,08	-0,63	-1,58	-0,05	0,37	-1,13	-0,11	-0,90	0,75	0,74	-0,88	-0,08	-0,31	0,17	-0,05
A109	-0,08	1,10	0,35	1,77	1,83	0,44	-0,22	-0,57	0,59	0,18	-1,07	0,04	0,05	-0,37	-0,52
A112	-0,08	2,17	2,57	2,00	2,01	2,12	0,09	0,41	-0,22	-0,06	0,25	-0,19	-0,16	0,37	0,22
A121	-0,08	-1,92	-3,48	-0,54	-1,24	-2,71	-0,14	-1,62	1,12	0,60	-0,93	-0,05	-0,09	-0,03	-0,14
A111	-0,08	0,38	0,20	0,66	0,75	-0,21	-0,12	0,00	0,25	-0,07	-0,89	-0,15	-0,32	0,16	0,02
A119	-0,08	-1,98	-3,60	-1,36	-0,77	-2,00	-0,09	-1,68	0,85	1,02	-0,33	-0,12	-0,03	0,16	-0,13
A101	-0,08	-1,50	-3,11	-0,94	-0,57	-1,19	-0,10	-1,63	0,82	0,68	-0,12	0,05	0,10	-0,31	-0,11
A133	-0,08	1,84	0,82	2,49	2,43	1,47	0,00	-0,53	0,71	0,28	-0,53	-0,10	0,23	-0,06	0,00
A122	-0,08	0,99	0,14	1,75	1,54	0,72	-0,05	-0,84	0,69	0,46	-0,33	0,00	0,04	-0,09	-0,02
A123	-0,08	-4,04	-5,14	-4,25	-2,92	-3,79	-0,02	-1,12	0,25	1,15	-0,16	0,25	0,16	-0,51	0,27
A126	-0,08	2,99	1,77	3,51	3,42	3,29	0,04	-0,69	1,03	-0,04	-0,10	0,02	0,07	0,03	0,14
A125	-0,08	0,42	-0,49	0,77	0,95	0,47	-0,10	-0,65	0,75	0,03	-0,56	-0,18	-0,03	0,03	-0,17
A124	-0,08	-1,03	-2,44	-0,96	0,16	-0,71	-0,23	-1,42	0,70	0,68	-0,73	-0,14	0,07	-0,28	-0,45
MATO GROSSO															
A924	-0,08	0,41	-0,13	1,02	0,32	0,19	-0,03	-0,27	0,59	-0,31	-0,30	-0,18	0,09	0,10	-0,13
A910	-0,08	0,50	0,54	1,51	0,91	-0,71	0,01	0,06	1,08	0,26	-1,15	-0,10	-0,11	0,34	0,11
A926	-0,08	-1,52	-2,23	-0,46	-1,22	-2,16	-0,09	-0,39	1,19	-0,17	-1,02	0,08	-0,09	-0,08	-0,11
A913	-0,08	0,87	-1,23	3,28	0,99	0,21	-0,25	-1,12	2,14	-0,85	-1,19	-0,19	-0,01	-0,47	0,03
A918	-0,08	0,41	-0,32	1,43	0,39	-0,01	0,00	-0,46	1,07	-0,29	-0,44	0,12	0,00	0,19	-0,12
A919	-0,08	3,83	3,44	4,92	4,06	2,67	-0,10	-0,20	0,64	0,05	-1,08	-0,01	-0,25	-0,06	0,04
A930	-0,08	-0,80	-2,08	0,57	-0,44	-1,31	0,01	-0,61	1,52	-0,26	-0,71	-0,05	-0,04	0,08	0,41
A906	-0,08	5,43	7,37	5,39	3,22	5,69	0,27	1,73	-0,23	-1,57	1,19	-0,03	0,29	0,27	0,26
A914	-0,08	0,04	-0,68	1,00	-0,05	-0,13	0,15	-0,36	1,13	-0,11	-0,11	-0,14	0,29	0,26	0,30
A920	-0,08	0,01	1,23	0,10	-0,52	-0,78	-0,08	0,77	0,02	-0,40	-0,69	-0,06	-0,06	-0,10	-0,16
A928	-0,08	0,58	0,91	1,25	0,35	-0,13	-0,14	0,36	0,53	-0,63	-0,80	-0,04	-0,08	-0,23	-0,19
A929	-0,08	2,00	1,12	4,21	0,60	1,69	0,08	-0,59	2,03	-1,28	-0,21	0,36	0,26	0,19	-0,23
A937	-0,08	0,97	0,56	1,49	1,32	0,48	0,01	0,31	0,61	-0,26	-0,59	0,07	0,01	0,14	-0,14
A935	-0,08	0,54	0,82	1,86	0,07	-0,92	-0,09	0,20	1,20	-0,66	-1,45	-0,02	0,00	-0,19	-0,10
A936	-0,08	0,96	-0,53	2,02	1,89	0,20	-0,09	-0,44	1,18	-0,07	-1,17	0,00	-0,07	-0,11	0,06
A917	-0,08	-0,20	-1,11	1,04	-0,09	-0,87	-0,21	-0,65	1,09	-0,58	-1,01	0,11	-0,19	-0,32	-0,25

A904	-0,08	0,40	-0,57	1,53	0,89	-0,27	-0,26	-0,59	0,94	-0,32	-1,14	-0,13	-0,29	-0,26	-0,09
A922	-0,08	1,06	0,51	1,81	0,95	0,98	0,11	0,14	0,94	-0,62	-0,14	-0,03	0,04	-0,01	0,47
PARÁ															
A201	-0,08	1,82	0,17	1,83	2,62	2,66	-0,19	-1,68	-0,19	0,53	0,60	-0,08	-0,14	-0,18	-0,18
A226	-0,08	-1,95	-2,33	-3,15	-1,45	-0,67	0,06	-0,21	-0,76	0,46	0,90	-0,07	0,22	0,26	-0,14
A236	-0,08	-4,54	-5,06	-5,78	-2,80	-4,04	-0,15	-0,97	-1,19	1,66	0,43	-0,13	-0,06	0,23	-0,51
A248	-0,08	-0,33	-2,15	0,05	1,49	-0,37	-0,12	-1,81	0,07	1,68	-0,08	-0,16	-0,01	0,05	-0,11
A202	-0,08	1,02	-0,58	1,10	2,10	1,40	-0,16	-1,71	-0,10	0,91	0,20	0,13	-0,04	-0,25	-0,26
A241	-0,08	-0,02	-1,61	1,02	0,88	-0,36	-0,12	-0,58	1,12	-0,08	-0,99	0,00	-0,12	-0,14	-0,02
A231	-0,08	-2,37	-3,29	-1,92	-1,55	-2,83	0,09	-0,66	0,96	0,64	-0,75	-0,01	0,19	0,24	0,07
A240	-0,08	-1,12	-1,81	-0,36	-0,47	1,87	-0,07	-0,38	0,88	0,19	-1,01	0,04	0,08	-0,11	-0,16
A209	-0,08	-1,14	-2,35	-0,63	0,05	-1,77	-0,08	-1,29	0,57	1,07	-0,82	-0,09	0,05	0,13	-0,26
A246	-0,08	0,44	0,17	0,80	0,62	0,04	-0,03	-0,11	0,31	0,08	-0,51	0,09	-0,18	0,06	0,03
A239	-0,08	-5,72	-7,40	-6,01	-3,81	-5,57	-0,03	-1,72	-0,18	1,88	-0,01	0,29	-0,14	0,14	-0,16
A235	-0,08	0,61	-1,13	1,81	1,82	-0,08	0,03	-1,38	1,30	1,01	-0,86	0,04	-0,32	0,32	0,33
A232	-0,08	2,35	2,60	1,50	2,51	3,09	0,06	0,56	-0,27	-0,14	0,05	0,18	0,29	-0,06	-0,30
A210	-0,08	1,09	0,48	3,23	1,24	-0,51	0,11	-0,83	2,09	0,48	-1,24	0,01	0,32	0,18	0,01
A212	-0,08	-0,91	-1,50	-0,42	-0,17	-1,53	0,02	-0,63	0,54	0,79	-0,61	-0,02	-0,11	0,14	0,16
A211	-0,08	1,11	0,80	1,79	1,46	0,30	-0,05	-0,30	0,57	0,28	-0,83	0,03	0,03	-0,11	-0,10
A214	-0,08	0,96	-0,03	1,55	1,87	0,53	0,07	-0,03	0,84	-0,14	-0,90	0,06	0,15	-0,14	0,27
A233	-0,08	0,89	-0,50	2,21	1,45	0,30	0,01	-0,64	1,48	0,02	-0,80	-0,10	-0,11	0,20	0,23
A230	-0,08	-2,23	-4,50	-0,91	-1,16	-2,50	-0,15	-2,60	0,88	1,20	-0,11	-0,16	-0,02	-0,02	-0,09
A213	-0,08	-0,18	-1,62	0,79	0,61	-0,65	-0,02	-1,50	0,85	0,83	-0,40	0,15	-0,07	-0,03	0,12
A229	-0,08	-1,56	-3,21	-0,33	-0,68	-1,97	-0,13	-1,94	0,81	0,94	-0,30	-0,23	-0,03	0,12	-0,14
RONDÔNIA															
A940	-0,08	0,06	-0,72	0,89	0,55	-0,44	-0,07	-0,43	0,85	0,08	-0,77	0,00	-0,23	-0,03	0,12
A939	-0,08	0,35	-0,13	1,17	0,86	-0,44	-0,08	-0,28	0,78	0,20	-0,94	-0,13	-0,19	0,24	-0,05
A925	-0,08	0,69	0,26	1,35	1,01	0,23	0,08	-0,16	0,77	0,25	-0,43	0,10	0,04	0,06	0,17
A938	-0,08	0,07	-1,27	1,26	0,86	-0,54	-0,32	-0,95	1,09	-0,12	-1,21	-0,01	-0,55	-0,19	-0,26
RORAIMA															
A135	-0,08	-1,68	-2,49	-1,65	-0,77	-1,91	-0,09	-1,29	0,39	0,89	-0,55	-0,11	-0,06	0,18	-0,43

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

anual, sazonal e mensal e Souza et al. (2017) anualmente encontraram $0,63 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ neste estudo (Tabela 12) os valores foram de $-0,21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ anualmente e $-0,32$ a $0,11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ sazonalmente.

Para Botucatu/SP Silva et al., (2018) encontraram para anos típicos e atípicos valores de $-1,21$ e $0,29 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Bender & Sentelhas (2018) para várias cidades brasileiras foi de $-1,16$ a $1,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Tabela 13. Raíz quadrada do erro relativo médio (RMSE) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	RMSE (MJ m ⁻² d ⁻¹)														
	(t x t)	(t x a)	(t x s)				(a x a)	(a x s)				(s x s)			
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS
ACRE															
A108	3,30	2,61	2,57	2,67	2,57	2,63	2,60	2,72	2,50	2,40	2,80	2,45	2,50	2,45	2,72
A140	3,30	3,04	2,50	3,80	2,94	2,73	2,95	2,41	3,62	2,77	2,80	2,36	3,43	2,75	2,60
A138	3,30	2,67	2,19	2,95	2,68	2,73	2,66	2,14	3,00	2,68	2,66	2,14	2,78	2,66	2,46
A102	3,30	3,25	2,66	3,18	3,51	3,49	2,81	2,35	2,78	2,89	3,14	2,40	2,76	2,88	3,05
A136	3,30	2,96	2,59	3,33	2,98	2,89	2,84	2,58	3,17	2,74	2,84	2,53	2,99	2,72	2,56
A104	3,30	3,01	2,85	3,35	2,82	2,98	2,94	2,61	3,37	2,84	2,87	2,59	3,31	2,71	2,85
AMAPÁ															
A249	3,30	6,03	6,79	7,26	5,08	4,71	2,95	3,12	2,08	3,40	2,99	2,63	1,44	3,37	3,03
A242	3,30	2,37	2,43	2,49	2,23	2,34	2,33	2,51	2,53	2,06	2,22	2,21	2,35	2,06	2,17
A244	3,30	2,66	2,28	2,69	3,06	2,51	2,45	2,45	2,27	2,53	2,54	2,24	2,20	2,36	2,37
A243	3,30	2,68	2,60	2,50	2,73	2,90	2,66	2,60	2,46	2,67	2,94	2,53	2,33	2,64	2,83
AMAZONAS															
A113	3,30	3,60	3,26	4,05	3,71	3,18	2,89	2,99	3,06	2,64	2,87	2,96	3,00	2,55	2,74
A120	3,30	3,15	3,38	3,19	3,00	2,99	3,05	3,34	3,07	2,72	2,89	3,16	2,82	2,61	2,89
A128	3,30	3,35	3,34	3,91	2,87	3,21	3,24	3,18	3,81	2,86	3,06	2,95	3,60	2,80	3,02
A110	3,30	3,48	4,09	3,52	3,23	3,07	3,18	3,85	3,11	2,77	2,97	3,79	3,13	2,72	2,93
A117	3,30	3,24	3,12	3,41	3,16	3,26	3,10	2,80	3,46	3,07	3,05	2,67	3,36	2,95	2,88
A109	3,30	2,53	1,93	2,97	2,85	2,19	2,22	1,94	2,41	2,13	2,34	1,87	2,35	2,15	2,15
A112	3,30	4,65	5,93	4,49	3,68	4,30	4,10	5,32	4,01	3,08	3,76	5,31	4,01	3,11	3,73
A121	3,30	4,67	4,63	5,81	3,64	4,19	4,24	3,49	5,90	3,49	3,19	3,05	5,76	3,36	3,02
A111	3,30	2,61	2,25	2,60	3,10	2,47	2,55	2,25	2,47	2,96	2,57	2,24	2,47	2,92	2,38
A119	3,30	3,89	4,72	3,46	3,35	3,78	3,28	3,47	3,16	3,32	3,16	3,01	3,03	3,15	3,15
A101	3,30	4,04	4,39	3,99	3,70	4,00	3,71	3,42	3,89	3,80	3,72	3,02	3,80	3,66	3,72
A133	3,30	3,38	2,49	3,99	3,64	3,10	2,73	2,43	3,11	2,65	2,68	2,33	3,03	2,61	2,59
A122	3,30	3,18	3,06	3,54	3,29	2,83	3,01	3,17	3,14	2,92	2,73	3,06	3,06	2,88	2,70
A123	3,30	5,40	6,18	5,68	4,37	5,17	3,45	3,63	3,59	3,26	3,32	3,37	3,52	3,15	3,38
A126	3,30	4,22	3,30	4,49	4,53	4,49	2,77	2,56	2,80	2,85	2,86	2,48	2,62	2,85	2,85
A125	3,30	2,70	2,41	2,97	2,72	2,67	2,48	2,32	2,59	2,43	2,59	2,24	2,40	2,43	2,52
A124	3,30	3,20	3,32	3,34	3,20	2,93	2,85	2,60	3,00	3,05	2,77	2,17	2,86	2,96	2,71
MATO GROSSO															
A924	3,30	2,72	1,77	3,35	2,82	2,37	2,66	1,78	3,26	2,76	2,34	1,78	3,20	2,65	2,33
A910	3,30	2,92	2,89	3,53	2,67	2,55	2,84	2,79	3,35	2,60	2,59	2,79	3,19	2,51	2,10
A926	3,30	3,06	2,86	2,98	3,11	3,30	2,63	1,85	3,16	2,83	2,54	1,83	2,93	2,74	2,27
A913	3,30	4,97	3,42	7,30	4,85	3,12	4,78	3,31	6,86	4,75	3,20	3,14	6,49	4,69	2,93
A918	3,30	2,97	1,92	3,72	3,04	2,83	2,91	1,92	3,59	2,98	2,78	1,88	3,45	2,92	2,74
A919	3,30	7,76	7,92	8,58	7,56	6,54	6,72	7,12	7,10	6,33	6,05	7,14	7,09	6,32	5,90
A930	3,30	3,08	2,71	3,37	3,03	3,17	2,87	1,79	3,52	2,99	2,87	1,67	3,18	2,96	2,83
A906	3,30	7,48	9,61	6,95	4,37	8,01	5,16	6,42	4,49	3,60	5,74	6,02	4,44	2,72	5,62
A914	3,30	2,82	2,09	3,45	2,96	2,57	2,81	2,01	3,51	2,95	2,53	2,00	3,30	2,89	2,50
A920	3,30	2,89	2,53	3,25	3,17	2,54	2,86	2,35	3,28	3,18	2,53	2,21	3,24	2,98	2,41
A928	3,30	2,73	2,28	3,21	2,84	2,54	2,64	2,11	2,94	2,86	2,61	2,08	2,85	2,77	2,48
A929	3,30	7,72	7,35	9,07	5,75	7,94	7,43	7,27	8,28	5,92	7,74	7,26	8,01	5,70	7,68
A937	3,30	3,40	2,83	3,79	3,62	3,28	3,16	2,73	3,35	3,27	3,22	2,72	3,27	3,23	3,14
A935	3,30	3,07	2,18	3,89	3,24	2,73	3,01	2,00	3,64	3,29	2,93	1,99	3,39	3,01	2,56
A936	3,30	3,73	2,60	4,53	4,17	3,10	3,35	2,51	4,00	3,49	3,10	2,48	3,81	3,40	2,83
A917	3,30	3,37	2,49	3,53	4,18	3,06	3,32	2,31	3,54	4,18	2,99	2,26	3,38	4,16	2,77

A904	3,30	2,70	1,69	3,33	2,96	2,53	2,60	1,64	3,06	2,82	2,65	1,55	2,93	2,83	2,34
A922	3,30	3,87	3,10	4,42	3,88	3,98	3,63	3,02	4,01	3,68	3,78	3,03	3,87	3,58	3,80
PARÁ															
A201	3,30	3,64	2,81	4,29	3,63	3,66	3,13	3,27	3,87	2,57	2,57	2,76	3,87	2,50	2,46
A226	3,30	3,71	3,55	3,95	3,89	3,40	3,08	2,72	2,52	3,56	3,51	2,68	2,35	3,54	3,29
A236	3,30	5,65	5,79	6,58	4,64	5,13	3,26	2,79	3,26	3,97	3,07	2,54	2,89	3,61	3,09
A248	3,30	2,62	2,88	2,12	2,98	2,49	2,59	2,63	2,15	3,10	2,50	1,93	2,13	2,57	2,39
A202	3,30	2,69	2,16	2,38	3,30	2,75	2,47	2,70	2,12	2,68	2,36	2,12	2,08	2,52	2,32
A241	3,30	3,14	2,38	3,61	3,63	2,74	2,94	1,78	3,52	3,43	2,68	1,69	3,31	3,38	2,49
A231	3,30	3,78	3,85	3,70	3,56	4,03	2,83	2,05	3,28	3,07	2,74	1,92	3,10	3,01	2,63
A240	3,30	2,74	2,53	2,64	2,71	3,07	2,47	1,86	2,72	2,60	2,65	1,81	2,59	2,56	2,51
A209	3,30	2,84	3,34	2,56	2,66	2,83	2,62	2,71	2,55	2,87	2,35	2,39	2,49	2,65	2,23
A246	3,30	2,49	2,48	2,67	2,54	2,18	2,44	2,52	2,54	2,42	2,21	2,46	2,53	2,38	2,08
A239	3,30	6,46	7,81	6,28	4,90	6,46	2,87	2,90	1,85	3,58	2,96	2,43	1,81	2,94	2,98
A235	3,30	3,32	2,64	3,31	4,06	3,15	3,22	2,74	3,02	3,77	3,28	2,39	2,74	3,65	3,17
A232	3,30	4,22	4,73	3,32	3,90	4,89	3,45	3,92	2,97	2,94	3,83	3,89	2,94	2,94	3,80
A210	3,30	3,41	3,26	4,68	2,93	2,40	3,19	3,26	3,97	2,73	2,67	3,13	3,35	2,67	2,33
A212	3,30	2,66	2,48	2,41	2,82	2,90	2,51	2,09	2,46	2,92	2,52	1,98	2,32	2,82	2,43
A211	3,30	2,73	2,66	3,02	2,80	2,34	2,47	2,53	2,49	2,41	2,46	2,50	2,45	2,39	2,24
A214	3,30	2,93	2,50	3,06	3,41	2,70	2,61	2,36	2,62	2,72	2,73	2,36	2,49	2,72	2,61
A233	3,30	3,12	1,92	3,78	3,47	2,91	2,83	1,94	3,38	3,01	2,75	1,86	3,01	2,99	2,57
A230	3,30	4,45	5,64	3,81	4,13	3,88	3,77	3,95	3,78	4,14	2,94	2,86	3,63	3,89	2,91
A213	3,30	2,37	2,66	2,42	2,19	2,18	2,37	2,58	2,45	2,27	2,14	2,10	2,26	2,09	2,09
A229	3,30	3,41	4,35	2,80	3,07	3,22	3,02	3,43	2,96	3,08	2,54	2,60	2,79	2,93	2,52
RONDÔNIA															
A940	3,30	2,63	2,31	2,70	2,91	2,59	2,58	2,22	2,63	2,83	2,63	2,19	2,54	2,82	2,52
A939	3,30	2,69	2,08	3,09	2,97	2,50	2,64	2,10	2,97	2,82	2,59	2,11	2,88	2,80	2,40
A925	3,30	2,73	2,69	2,84	2,86	2,55	2,63	2,69	2,61	2,67	2,55	2,67	2,51	2,60	2,48
A938	3,30	2,87	2,77	3,31	2,85	2,53	2,81	2,66	3,19	2,68	2,68	2,46	3,06	2,66	2,45
RORAIMA															
A135	3,30	3,24	3,64	3,27	2,56	3,44	2,70	2,83	2,65	2,51	2,82	2,54	2,45	2,32	2,80

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

A raiz quadrada do erro relativo médio (RMSE) nas diferentes interações (Tabela 13) onde no agrupamento total a interação (t x t) que foi de 3,30 MJ m⁻² d⁻¹ comparado a interações menores houve um aumento na amplitude do erro como (t x a) que foi de 2,37 a 7,76 MJ m⁻² d⁻¹ e (t x s) de 1,69 a 9,61 MJ m⁻² d⁻¹. Já no agrupamento anual ocorreu um aumento do erro do agrupamento de (a x a) 2,22 a 7,43 MJ m⁻² d⁻¹ comparando a agrupamentos menores como (a x s) que foi de 1,64 a 8,28 MJ m⁻² d⁻¹. No agrupamento sazonal a interação (s x s) o erro foi de 1,44 a 8,01 MJ m⁻² d⁻¹.

Em média quando se analisa o modelo calibrado e validado no mesmo agrupamento como o total (t x t) que é de 3,30 MJ m⁻² d⁻¹, o anual (a x a) que foi de 3,08 ± 0,86 MJ m⁻² d⁻¹ e o sazonal (s x s) foi de 2,92 ± 0,95 MJ m⁻² d⁻¹ o que mostra que o modelo anual e sazonal apresentam desempenhos próximos.

No Estado de Mato Grosso para a Amazônia Souza et al. (2017) encontraram para o modelo anual o valor de 1,55 (Sinop) a 3,44 MJ m⁻² d⁻¹ (Nova Maringá) que neste estudo (Tabela 13) foi de 3,32 e 2,64 MJ m⁻² d⁻¹ para Sinop e Nova Maringá. Para Sinop, Pavão et al. (2018) encontraram 3,47, 3,88 e 3,41 MJ m⁻² d⁻¹ anual, sazonal e mensal.

Em outras cidades Lima et al., (2019) encontraram uma variação de 1,05 a 3 MJ m⁻² d⁻¹, Silva et al., (2018) para anos típicos e atípicos foi de 3,532 e 3,932 MJ m⁻² d⁻¹, Bender & Sentelhas (2018) variou de 1,83 a 3,30 MJ m⁻² d⁻¹.

Embora no modelo total (t) apresente pequeno erro na maioria das cidades avaliadas, houve um grande espalhamento na estimativa da radiação global. O erro relativo e o espalhamento dos modelos anual e sazonal foram próximos, porém sazonalmente ocorreu uma variação maior dos indicativos estatísticos.

Tabela 14. Índice de concordância de Wilmott (d) na estimativa da radiação global pelo modelo de Bristow & Campbell nas interações (t x t), (t x a), (t x s), (a x a), (a x s) e (s x s) na Amazônia brasileira.

Estação	d															
	(t x t)	(t x a)	(t x s)				(a x a)	(a x s)				(s x s)				
			S	SC	C	CS		S	SC	C	CS	S	SC	C	CS	
ACRE																
A108	0,82	0,90	0,87	0,90	0,89	0,87	0,90	0,87	0,92	0,91	0,86	0,87	0,93	0,91	0,86	
A140	0,82	0,87	0,89	0,81	0,90	0,88	0,90	0,91	0,85	0,92	0,89	0,91	0,86	0,92	0,91	
A138	0,82	0,89	0,89	0,79	0,90	0,89	0,89	0,90	0,80	0,90	0,89	0,90	0,83	0,90	0,92	
A102	0,82	0,86	0,87	0,85	0,85	0,80	0,91	0,92	0,90	0,90	0,84	0,91	0,91	0,90	0,86	
A136	0,82	0,87	0,84	0,84	0,90	0,87	0,90	0,87	0,87	0,92	0,89	0,87	0,89	0,92	0,92	
A104	0,82	0,87	0,81	0,84	0,89	0,84	0,88	0,84	0,85	0,89	0,87	0,83	0,85	0,90	0,88	
AMAPÁ																
A249	0,82	0,70	0,53	0,26	0,76	0,75	0,91	0,79	0,58	0,91	0,91	0,82	0,44	0,90	0,89	
A242	0,82	0,93	0,88	0,70	0,92	0,93	0,93	0,88	0,72	0,93	0,93	0,91	0,73	0,93	0,94	
A244	0,82	0,87	0,84	0,55	0,84	15,29	0,88	0,82	0,54	0,87	0,87	0,85	0,63	0,88	0,90	
A243	0,82	0,90	0,83	0,56	0,90	0,89	0,91	0,83	0,59	0,90	0,88	0,86	0,69	0,90	0,90	
AMAZONAS																
A113	0,82	0,78	0,57	0,79	0,80	0,77	0,84	0,64	0,86	0,88	0,81	0,62	0,86	0,89	0,83	
A120	0,82	0,85	0,72	0,79	0,88	0,86	0,88	0,77	0,84	0,91	0,87	0,78	0,87	0,91	0,89	
A128	0,82	0,86	0,81	0,81	0,88	0,88	0,89	0,85	0,85	0,90	0,91	0,87	0,88	0,90	0,91	
A110	0,82	0,81	0,71	0,78	0,85	0,83	0,84	0,73	0,82	0,88	0,83	0,71	0,84	0,89	0,84	
A117	0,82	0,83	0,79	0,79	0,84	0,84	0,86	0,84	0,82	0,87	0,88	0,84	0,83	0,88	0,90	
A109	0,82	0,87	0,88	0,83	0,84	0,90	0,90	0,90	0,89	0,91	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	
A112	0,82	0,72	0,53	0,72	0,82	0,72	0,73	0,42	0,72	0,86	0,75	0,41	0,73	0,86	0,75	
A121	0,82	0,75	0,63	0,51	0,86	0,80	0,80	0,70	0,50	0,89	0,89	0,73	0,47	0,90	0,91	
A111	0,82	0,88	0,82	0,89	0,85	0,90	0,90	0,83	0,91	0,87	0,90	0,82	0,92	0,88	0,92	
A119	0,82	0,80	0,66	0,82	0,85	0,80	0,87	0,78	0,86	0,88	0,87	0,81	0,88	0,89	0,87	
A101	0,82	0,76	0,69	0,70	0,78	0,78	0,82	0,79	0,75	0,82	0,83	0,81	0,77	0,80	0,83	
A133	0,82	0,81	0,82	0,77	0,81	0,82	0,87	0,84	0,85	0,89	0,86	0,83	0,86	0,89	0,87	
A122	0,82	0,86	0,72	0,77	0,87	0,88	0,87	0,72	0,80	0,89	0,89	0,73	0,82	0,89	0,89	

A123	0,82	0,71	0,59	0,64	0,77	0,69	0,86	0,77	0,77	0,89	0,86	0,76	0,81	0,90	0,85
A126	0,82	0,80	0,82	0,73	0,77	0,78	0,90	0,90	0,87	0,88	0,88	0,90	0,89	0,88	0,88
A125	0,82	0,90	0,84	0,83	0,91	0,89	0,92	0,88	0,89	0,93	0,90	0,89	0,91	0,93	0,91
A124	0,82	0,86	0,78	0,77	0,87	0,89	0,91	0,87	0,85	0,91	0,92	0,91	0,88	0,91	0,92

MATO GROSSO

A924	0,82	0,85	0,69	0,78	0,90	0,85	0,86	0,69	0,80	0,91	0,86	0,70	0,81	0,92	0,86
A910	0,82	0,83	0,44	0,77	0,90	0,87	0,85	0,45	0,79	0,92	0,88	0,40	0,80	0,92	0,93
A926	0,82	0,83	0,59	0,80	0,87	0,82	0,88	0,77	0,82	0,91	0,90	0,76	0,84	0,91	0,92
A913	0,82	0,62	0,55	0,51	0,70	0,76	0,64	0,64	0,53	0,70	0,77	0,67	0,52	0,71	0,82
A918	0,82	0,82	0,69	0,73	0,88	0,83	0,85	0,70	0,77	0,90	0,86	0,71	0,75	0,91	0,87
A919	0,82	0,54	0,44	0,55	0,59	0,55	0,43	0,25	0,45	0,53	0,43	0,27	0,42	0,52	0,52
A930	0,82	0,82	0,65	0,81	0,89	0,75	0,86	0,82	0,83	0,91	0,81	0,85	0,84	0,91	0,83
A906	0,82	0,58	0,48	0,57	0,79	0,57	0,55	0,33	0,51	0,79	0,53	0,33	0,59	0,90	0,49
A914	0,82	0,84	0,79	0,77	0,86	0,88	0,85	0,80	0,78	0,87	0,89	0,83	0,78	0,88	0,90
A920	0,82	0,84	0,72	0,78	0,86	0,86	0,85	0,71	0,77	0,87	0,87	0,73	0,80	0,89	0,88
A928	0,82	0,86	0,72	0,81	0,90	0,84	0,88	0,74	0,84	0,91	0,84	0,77	0,86	0,91	0,86
A929	0,82	0,49	0,32	0,49	0,71	0,45	0,43	0,27	0,43	0,65	0,35	0,27	0,34	0,72	0,37
A937	0,82	0,83	0,76	0,78	0,83	0,82	0,86	0,81	0,84	0,88	0,84	0,80	0,85	0,88	0,85
A935	0,82	0,85	0,79	0,74	0,87	0,85	0,86	0,82	0,76	0,88	0,84	0,82	0,78	0,91	0,88
A936	0,82	0,81	0,82	0,74	0,79	0,84	0,85	0,87	0,81	0,85	0,86	0,85	0,81	0,87	0,89
A917	0,82	0,78	0,58	0,76	0,81	0,80	0,80	0,63	0,78	0,82	0,82	0,65	0,77	0,82	0,87
A904	0,82	0,84	0,81	0,78	0,88	0,81	0,86	0,84	0,83	0,90	0,81	0,86	0,83	0,89	0,86
A922	0,82	0,81	0,77	0,72	0,84	0,76	0,84	0,80	0,78	0,87	0,79	0,82	0,80	0,88	0,79

PARÁ

A201	0,82	0,66	0,53	0,42	0,71	0,69	0,70	0,53	0,32	0,82	0,80	0,52	0,25	0,81	0,78
A226	0,82	0,74	0,61	0,58	0,72	0,81	0,83	0,70	0,73	0,79	0,85	0,68	0,71	0,80	0,84
A236	0,82	0,55	0,41	0,40	0,69	0,61	0,70	0,51	0,45	0,77	0,77	0,45	0,35	0,78	0,78
A248	0,82	0,79	0,65	0,75	0,76	0,81	0,80	0,67	0,73	0,75	0,82	0,77	0,73	0,76	0,83
A202	0,82	0,78	0,65	0,64	0,78	0,78	0,80	0,62	0,66	0,83	0,82	0,66	0,65	0,82	0,81
A241	0,82	0,81	0,62	0,78	0,83	0,85	0,87	0,79	0,83	0,87	0,88	0,78	0,84	0,87	0,90
A231	0,82	0,81	0,63	0,76	0,86	0,78	0,90	0,82	0,82	0,92	0,90	0,84	0,83	0,92	0,91
A240	0,82	0,86	0,70	0,87	0,91	0,75	0,90	0,81	0,88	0,93	0,82	0,81	0,88	0,93	0,85
A209	0,82	0,84	0,67	0,70	0,86	0,85	0,86	0,75	0,73	0,85	0,89	0,78	0,73	0,86	0,90
A246	0,82	0,90	0,76	0,87	0,93	0,91	0,91	0,77	0,88	0,93	0,90	0,75	0,89	0,93	0,92
A239	0,82	0,59	0,45	0,37	0,72	0,60	0,85	0,76	0,64	0,84	0,87	0,76	0,68	0,87	0,87
A235	0,82	0,72	0,67	0,68	0,72	0,69	0,75	0,69	0,73	0,74	0,68	0,73	0,76	0,75	0,71
A232	0,82	0,74	0,60	0,63	0,78	0,68	0,82	0,67	0,71	0,86	0,74	0,66	0,71	0,86	0,71
A210	0,82	0,73	0,53	0,60	0,83	0,86	0,72	0,45	0,61	0,83	0,83	0,47	0,62	0,85	0,89
A212	0,82	0,77	0,64	0,67	0,77	0,74	0,79	0,68	0,68	0,78	0,79	0,69	0,73	0,79	0,82
A211	0,82	0,83	0,70	0,77	0,84	0,86	0,85	0,71	0,82	0,87	0,84	0,73	0,81	0,87	0,88
A214	0,82	0,76	0,64	0,71	0,82	0,70	0,84	0,76	0,81	0,88	0,73	0,78	0,84	0,88	0,76
A233	0,82	0,79	0,65	0,75	0,83	0,79	0,85	0,67	0,81	0,89	0,84	0,69	0,83	0,89	0,87
A230	0,82	0,65	0,39	0,71	0,74	0,65	0,66	0,43	0,67	0,75	0,72	0,28	0,70	0,74	0,71
A213	0,82	0,82	0,69	0,69	0,87	0,82	0,81	0,69	0,68	0,86	0,82	0,75	0,72	0,88	0,84
A229	0,82	0,71	0,54	0,76	0,79	0,70	0,72	0,58	0,70	0,77	0,76	0,57	0,76	0,80	0,77

RONDÔNIA

A940	0,82	0,87	0,75	0,86	0,88	0,83	0,88	0,79	0,87	0,89	0,84	0,79	0,87	0,89	0,86
A939	0,82	0,86	0,79	0,81	0,89	0,86	0,87	0,79	0,83	0,90	0,85	0,80	0,84	0,90	0,88
A925	0,82	0,86	0,75	0,82	0,87	0,87	0,87	0,76	0,85	0,89	0,87	0,75	0,86	0,89	0,88
A938	0,82	0,83	0,71	0,71	0,88	0,84	0,86	0,77	0,77	0,90	0,84	0,77	0,77	0,90	0,88

RORAIMA

A135	0,82	0,81	0,79	0,73	0,75	0,82	0,88	0,88	0,82	0,80	0,89	0,91	0,87	0,82	0,89
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

S (seca), SC (seca-chuva), C (chuva) e CS (chuva-seca).

Analisando o índice de concordância de Willmott (d) nas diferentes interações na Tabela 14, não houve uma diferença dos valores nas diferentes interações, com ressalva para a (t x t) que foi de 0,82. Anualmente, das 71 estações meteorológicas, 48 apresentaram índice de concordância de Willmott acima de 0,80.

Souza et al. (2017) encontraram o valor de 0,756 (Vila Bela de Santíssima Trindade) a 0,944 (Nova Maringá), Lima et al., (2019) variou de 0,85 a 0,98, Silva et al., (2018) para anos típicos e atípicos foi de 0,912 e 0,912, Bender & Sentelhas (2018) variou de 0,62 a 0,93.

A interação com o pior desempenho foi a equação calibrada no agrupamento total e validada no sazonal (t x s) pois nessa condição não se considera as condições microclimáticas de cada região, já a interação com melhor desempenho foi o modelo calibrado a validado anualmente (a x a). Sendo assim, recomenda-se a utilização das equações de Bristow & Campbell ajustadas anualmente para a estimativa da radiação solar na Amazônia.

4.6 CONCLUSÕES

Na estimativa da radiação global o modelo de Bristow & Campbell calibrado no agrupamento total (t) apresentou baixo desempenho, baixa correlação e valores altos de espalhamento nas cidades inseridas no bioma amazônico.

O modelo anual (a) e o sazonal (s) apresentaram um bom desempenho e correlação com valores próximos, sendo que sazonalmente encontra-se as condições meteorológicas mais específicas o que acarreta em algumas cidades a geração de coeficientes (a) acima de 0,85 e a baixa correlação entre a radiação solar e a amplitude térmica.

Na estimativa da radiação global com base no modelo de Bristow & Campbell pode utilizar os coeficientes calibrados anualmente e individualmente para cada cidade, que foram de 0,41 a 0,90 (a), 0,01 a 0,06 (b), 1,37 a 2,81 (c) e 0,20 a 0,76 (R^2).

O MBE apresentou subestimativas e superestimativas de -0,35 a 0,27 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ o RMSE oscilou de 2,22 a 7,43 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ e o d de 0,43 a 0,93 respectivamente

Modelos universais não são recomendados para a Amazônia brasileira pois a uma grande variabilidade dos elementos meteorológicos, principalmente a precipitação.

Quanto mais abrangente o modelo de estimativa da radiação, maior será o erro para a validação em agrupamentos menores para a Amazônia.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, Italy. 1998. 300 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRISANI, A.; MADONIA, M.; TRANCOSSI, M. Dumas relationships applied to Two Italian Sites. A Comparison among Various Solar Energy Estimating Formulas. **Energy Procedia**, v. 45, p. 342-351, 2014.
- BENDER, F. D.; SENTELHAS, P. C. Solar Radiation Models and Gridded Databases to Fill Gaps in Weather Series and to Project Climate Change in Brazil. **Advances in Meteorology**, v. 2, n. 4, p. 1-15, 2018.
- BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 31, n. 2, p. 159-166, 1984.
- CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. **Energy Conversion and Management**, v. 45, p. 1759-1769, 2004.
- ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. **Applied Energy**, v. 86, n. 3, p. 299-309, 2009.
- GOODIN, D. G.; HUTCHINSON, J. M. S.; VANDERLIP, R. L.; KNAPP, M. C. Estimating Solar Irradiance for Crop Modeling Using Daily Air Temperature Data. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 5, p. 845-852, 1999.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Vegetação do Brasil. 2a ed. Rio de Janeiro, 1993.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Canadá: Academic Press, 390 p. 1983.
- PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. Estimativa da radiação solar global diária em Capitão Poço, PA através da equação de Angstrom. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, Foz do Iguaçu, 2002. **Anais. SBMET**, 2002, 4p.

LIMA, A. O.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTOS, A. A. Assessment of monthly global solar irradiation estimates using air temperature in different climates of the state of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 9, p. 1-14, 2019.

LIU, X.; MEI, X.; LI, Y.; WANG, Q.; JENSEN, J. R.; ZHANG, Y.; PORTER, J. R. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in china. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 9, p. 1433-1446, 2009.

PAVÃO, V. M.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, L. L.; SILVA, P. C. B. S. Surface solar radiation in a tropical area estimated from different models. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, n. 14, p. 1-17, 2018.

RAMOS, J. P. A.; VIANNA, M. S.; MARIN, F. R. Estimativa da radiação solar global baseada na amplitude térmica para o Brasil. *Agrometeoros*, v. 26, n. 1, p. 37-51, 2018.

SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; JUNIOR, R. A. F.; TIBA, C.; MELO, R. O.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M. On modeling global solar irradiation air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. **Energy**, v. 71, p. 388-398, 2014.

SILVA, M. B. P.; ORTEGA, L. R. Z.; ESCOBEDO, J. F.; FERRARI, J. M. S.; PAES, A. C.; MARQUES, A. S.; PAI, E. D.; SANTOS, C. M. COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR UTILIZANDO A TEMPERATURA DO AR EM BOTUCATU/SP/BRASIL. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 6, 2018.

SILVA, V. J.; CARVALHO, F. J.; SILVA, C. R.; ATARASSI, R. T.; ALMOROX, J. SOLAR RADIATION ESTIMATED FROM EMPIRICAL MODELS FOR THE NORTH OF MINAS GERAIS, BRAZIL. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 1, p. 123-131, 2016a.

SILVA, V. J.; SILVA, C. R.; ALMOROX, J.; JÚNIOR, J. A. Temperature-based solar radiation models for use in simulated soybean potential yield. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 7, p. 926-932, 2016b.

SILVA, C. R.; SILVA, V. J.; JÚNIOR, J. A.; CARVALHO, H. P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 281-288, 2012a.

SILVA, V. J.; SILVA, C. R.; FINZI, R. R.; DIAS, N. S. Métodos para estimar radiação solar na região noroeste de Minas Gerais. *Ciência Rural*, v. 42, n. 2, p. 276-282, 2012b.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; TANAKA, A. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T.; KLAR, A. E.; GOMES, A. W. A. Global radiation by simplified models for the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 215-227, 2017.

PAVÃO, V. M.; BIUDES, M. S.; QUERINO, C. A. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, L. L.; SILVA, P. C. B. S. SURFACE SOLAR RADIATION IN A TROPICAL AREA ESTIMATED FROM DIFFERENT MODELS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, n. 14, p. 1-14, 2018.

QUEJ, V. H.; ALMOROX, J.; IBRAKHIMOV, M.; SAITO, L. Empirical models for estimating daily global solar radiation in Yucatán Peninsula, Mexico. **Energy Conversion and Management**, v. 110, n. 15, p. 448-456, 2016.

VOYANT, C. NOTTON, G.; KALOGIROU, S.; NIVET, M.-L.; PAOLI, C.; MOTTE, F.; FOUILLOY, A. Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. **Renewable Energy**, v. 105, p. 569-582, 2017.