

MAPA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE PARA O LESTE MARANHENSE

THORNTHWAITE CLIMATE CLASSIFICATION MAP FOR EAST MARANHENSE

MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL CLIMA DE THORNTHWAITE PARA EL ESTE DE MARANHENSE

Wellington Cruz Corrêa

Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadina-MA, wellingtoncruz156@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1200-5867>

Bruna da Silva Brito Ribeiro

Mestranda em Agricultura Digital, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, bruna.ribeiro@feagri.unicamp.br, <https://orcid.org/0000-0002-4453-793X>

Alayne Araújo Rodrigues

Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Chapadina-MA, alaynerodrigues8@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3537-7516>

Nítalo André Farias Machado

Doutor em Engenharia Agrícola, Docente Permanente do Centro de Ciências de Chapadina (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão, nitalo.farias@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0002-4967-2620>

Marcus Willame Lopes Carvalho

Doutor em Agronomia, Docente Permanente do Centro de Ciências de Chapadina (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão, marcus.willame@ufma.br, <https://orcid.org/0000-0002-5882-7399>

RESUMO: A classificação climática de Thornthwaite é uma das mais utilizadas no mundo, seja para estudos geográficos, meteorológicos, climatológicos, bioclimatológicos, ecológicos, dentre outros. Este estudo teve como objetivo gerar um mapa detalhado de classificação climática de Thornthwaite para o Leste Maranhense. Foram utilizados um total de 101 pontos de observação meteorológica, dos quais se obteve as variáveis temperatura média do ar e precipitação pluvial, dentro do intervalo temporal de 1950 a 2021. Tais dados foram avaliados e posteriormente processados em ambiente Excel e SIG. No Excel foram calculados os balanços hídricos climatológicos pelo método de Thornthwaite e Mather, usando 100 mm como capacidade de armazenamento de água do solo, além da determinação dos índices das equações de temperatura por regressão linear múltipla para posterior espacialização em imagens matriciais de latitude e longitude. Os dados de precipitação e evapotranspiração foram interpolados por krigagem ordinária, com resolução espacial de 90 m, igual à do modelo digital de elevação disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Foram avaliados mais de 8.727.760,0 pixels, sendo identificados os tipos climáticos subúmido seco C_1 e subúmido chuvoso C_2 , descritos pelos subtipos $C_{1dA'a'}$, $C_{1wA'a'}$, $C_{1w2A'a'}$ e $C_{2w2A'a'}$. No geral, identificou-se que 94% da área do Leste Maranhense é ocupada por clima C_1 e 6% por clima C_2 . Entende-se que este estudo gerou informações científicas precisas para apoio no planejamento agrícola e urbano, gestão de recursos hídricos e elaboração de políticas ambientais sustentáveis para o Leste Maranhense.

Palavras-chave: Mapa climático; Geoestatística; Balanço hídrico; Temperatura; Precipitação.

ABSTRACT: Thornthwaite's climate classification is one of the most used in the world, whether for geographic, meteorological, climatological, bioclimatological, ecological studies, among others. This study aimed to generate a detailed Thornthwaite climate classification map for Eastern Maranhão. A total of 101 meteorological observation points were used, from which the variables average air temperature and rainfall were obtained, within the time range from 1950 to 2021. Such data were evaluated and subsequently processed in an Excel and GIS environment. In Excel, climatological water balances were calculated using the Thornthwaite and Mather method, using 100 mm as soil water storage capacity, in addition to determining the indices of the temperature equations by multiple linear regression for subsequent spatialization in matrix images of latitude and longitude. Precipitation and evapotranspiration data were interpolated using ordinary kriging, with a spatial resolution of 90 m, equal to that of the digital elevation model made available by the National Institute for Space Research. More than 8,727,760.0 pixels were evaluated, identifying the dry subhumid C_1 and rainy subhumid C_2 climate types, described by the subtypes $C_{1dA}'a'$, $C_{1WA}'a'$, $C_{1W_2A}'a'$ and $C_{2W_2A}'a'$. Overall, it was identified that 94% of the East Maranhense area is occupied by a C_1 climate and 6% by a C_2 climate. It is understood that this study generated accurate scientific information to support agricultural and urban planning, water resources management and the development of sustainable environmental policies for Eastern Maranhão.

Keywords: Climate map; Geostatistics; Hydric balance; Temperature; Precipitation.

RESUMEN: La clasificación climática de Thornthwaite es una de las más utilizadas en el mundo, ya sea para estudios geográficos, meteorológicos, climatológicos, bioclimatológicos, ecológicos, entre otros. Este estudio tuvo como objetivo generar un mapa detallado de clasificación climática de Thornthwaite para el este de Maranhão. Se utilizaron un total de 101 puntos de observación meteorológica, de los cuales se obtuvieron las variables temperatura promedio del aire y precipitación, en el rango temporal de 1950 a 2021. Dichos datos fueron evaluados y posteriormente procesados en un ambiente Excel y SIG. En Excel se calcularon balances hídricos climatológicos mediante el método de Thornthwaite y Mather, utilizando 100 mm como capacidad de almacenamiento de agua del suelo, además de determinar los índices de las ecuaciones de temperatura mediante regresión lineal múltiple para su posterior espacialización en imágenes matriciales de latitud y longitud. Los datos de precipitación y evapotranspiración se interpolaron mediante kriging ordinario, con una resolución espacial de 90 m, igual a la del modelo de elevación digital proporcionado por el Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales. Se evaluaron más de 8.727.760,0 píxeles, identificándose los tipos de clima seco subhúmedo C_1 y lluvioso subhúmedo C_2 , descritos por los subtipos $C_{1dA}'a'$, $C_{1WA}'a'$, $C_{1W_2A}'a'$ y $C_{2W_2A}'a'$. En general, se identificó que el 94% del área del Este Maranhense está ocupada por un clima C_1 y el 6% por un clima C_2 . Se entiende que este estudio generó información científica precisa para apoyar la planificación agrícola y urbana, la gestión de los recursos hídricos y el desarrollo de políticas ambientales sostenibles para el este de Maranhão.

Palabras clave: Mapa climático; Geoestadística; Equilibrio hídrico; Temperatura; Precipitación.

1. INTRODUÇÃO

Em 1931, Warren Thornthwaite publica sua primeira versão de classificação climática aplicando-a para a determinação dos climas da América do Norte. Em 1933, aplicou sua metodologia e determinou os climas da Terra. Após aprimoramentos em seu método de classificação dos climas, em 1948 publicou sua versão revisada de classificação climática dando grande destaque à evaporação natural ou evapotranspiração das vegetações. Em 1955, em parceria com John Mather, implementaram a determinação do balanço hídrico, aprimorando ainda mais seu sistema de classificação climática com base nas relações entre a precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial.

A última versão da classificação climática de Thornthwaite em conjunto com o balanço hídrico se tornaram mundialmente conhecidos, de forma que são implementados por cientistas de todo o mundo até os dias atuais para os mais variados objetivos, em áreas do conhecimento como geografia, meteorologia, climatologia, bioclimatologia, agrometeorologia, e mesmo para a previsão de cenários futuros de mudanças climáticas (OMETTO, 1981; KUINCHTNER; BURIOL, 2001; FEDDEMA, 2005; AYOADE, 2007; ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007; GRUNDSTEIN, 2008; IZZO et al., 2010; SOUZA et al., 2013; ELGUINDI et al., 2014; YILMAZ; ÇIÇEK, 2016; APARECIDO et al., 2016; MARCOS JUNIOR et al., 2018; LIMA et al., 2021; APARECIDO et al., 2022; CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023).

Para o desenvolvimento das atividades antrópicas, entender o clima torna-se indispensável, principalmente quando essas atividades estão ligadas ao setor agrícola, tornando assim a classificação climática fundamental para analisar uma região, fornecendo informações precisas sobre os fatores ecológicos, meio ambiente e domínio agropecuário (ANDRADE JÚNIOR et al., 2005; MONTEIRO, 2009; SOUZA et al., 2014). Nesse contexto, atualmente, vários pesquisadores têm utilizado a classificação climática de Thornthwaite como metodologia para o zoneamento agroclimático (ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007; SILVA; MOURA; KLAR, 2014; FRANCISCO et al., 2015), assim como o monitoramento da disponibilidade hídrica do solo (SOUZA et al., 2013; SILVA et al., 2022; CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023; MARTINS et al., 2023), o que auxilia na tomada de decisão na preparação do solo, escolha de cultivares, melhores épocas de plantio, colheita e irrigação, além de auxiliar na escolhas de criação de diferentes espécies ou raças de animais (AYOADE, 2007; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; MEDEIROS et al., 2013).

O Leste Maranhense (LEM) sendo uma das cinco mesorregiões do Estado do Maranhão, possui 44 municípios e ocupa posição de destaque na produção vegetal e animal (SILVA et al., 2017; BRAGANÇA, 2018). Com destaque para a produção de espécies vegetais como a soja, milho, arroz, feijão, cana-de-açúcar, babaçu e mandioca; e destaque para a produção de espécies animais como galináceos, bovinos, caprinos e ovinos, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022). Diante disto, entender o clima e suas variáveis é de grande importância, visto que o retorno disto pode ser refletido em um consequente aumento de produção no setor vegetal e animal, além do apoio em formulações de políticas sustentáveis de gestão de recursos hídricos, preservação ambiental e ecológica.

Os climas do LEM pelo método de Thornthwaite (1948) já foram determinados pelo Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) na segunda edição do Atlas do Maranhão no ano de 2002. Mais recentemente, Corrêa; Carvalho e Mendes (2023) publicaram uma versão atualizada da classificação climática do Estado. No entanto, ambos os estudos utilizaram uma baixa densidade de estações ou pontos de observações meteorológicas. O presente estudo propõe uma classificação climática exclusiva para o LEM, utilizando uma densidade bem maior de estações ou pontos de observações meteorológicas, visto que, quanto maior a densidade de estações, melhor será a precisão na determinação dos limites territoriais ou geográficos de cada clima (ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007; ALVARES et al., 2013).

O método de classificação climática de Thornthwaite (1948) possui suas vantagens pela facilidade de aplicação, além de melhor delimitar áreas com climas diferentes em relação à outras classificações, como a de Köppen, por exemplo, que abrange maiores áreas com o mesmo clima (ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007). Sendo assim, o objetivo deste estudo é produzir um mapa detalhado da classificação climática de Thornthwaite para o Leste Maranhense, o qual servirá como base científica para tomada de decisão no planejamento agrícola e formulações de políticas de gestão dos recursos hídricos e ambientais em suas diferentes regiões ou municípios.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

No Estado do Maranhão, Brasil, de acordo com o IBGE (2021), o LEM (Figura 1) conta com uma área de 70.694,86 km², fica localizado entre as coordenadas -2°41'13,36" e -7°0'4,19" S e, -41°47'45,83" e -45°56'53,08" W, fazendo fronteira com o Estado do Piauí e com o Oceano Atlântico (UEMA, 2016), situando-se no Bioma Cerrado, e seus limites em proximidade com regiões de transição entre os biomas Amazônia e Caatinga (IBGE, 2021). Conta com clima Aw e Aw', segundo a classificação climática de Köppen, com totais anuais máximos de chuva que ultrapassam os 1600 mm e mínimos inferiores a 1300 mm, com temperatura média do ar anual entre 23 °C a 29 °C (ALVARES et al., 2012; ALVARES et al., 2013; CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023). O LEM é subdividido em seis microrregiões (Figura 1) (IBGE, 2021), que são: Baixo Parnaíba Maranhense (5), Chapadinha (6), Codó (7), Coelho Neto (8), Caxias (9) e Chapadas do Alto Itapecuru (10).

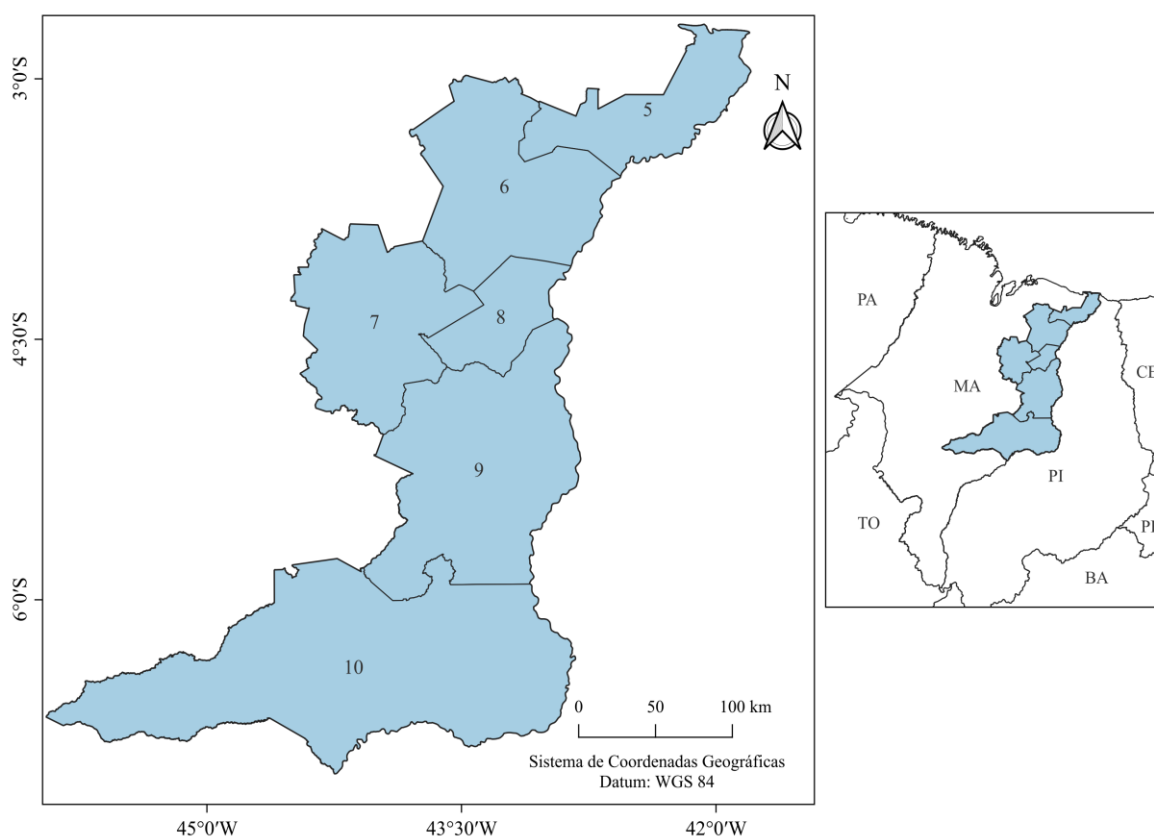


Figura 1 - Mapa de localização do Leste Maranhense. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.2. Base de dados

Os dados de precipitação pluviométrica mensais (em mm) foram adquiridos do banco de dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do projeto para energia renovável (NASA POWER) da National Aeronautics and Space Administration (NASA). Para este último banco de dados, a NASA disponibiliza um resumo da metodologia utilizada para estimativa da precipitação pluvial e outras variáveis climáticas e ambientais, que pode ser consultada em <<https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>>.

Utilizou-se o banco de dados da NASA para se obter dados de precipitação pluvial de regiões ou municípios que não contam com estações pluviométricas ou meteorológicas, uma vez que tal projeto estima dados climáticos e ambientais basicamente para qualquer região da Terra a partir de observações feitas por satélites de monitoramento ambiental como o MERRA-2, por exemplo.

Os dados de chuva adquiridos da ANA possuem série histórica máxima de 59 anos (1963 a 2021) e não inferior a 35 anos (1987 a 2021) de observação; com relação aos dados de chuva do INMET, a série histórica máxima é de 32 anos (1990 a 2021) e não inferior a 20 anos (2002 a 2021) de registro; do banco de dados da NASA todas as séries históricas vão de 1981 a 2021 (41 anos de registro). Ao todo, foram utilizados 101 pontos de observação da precipitação pluvial, em que 50 destes se encontram dentro do LEM e 51 em sua vizinhança (Figura 2). Tal metodologia foi empregada com o objetivo de melhorar os resultados da espacialização das chuvas e evapotranspiração potencial (ETP) pela eliminação do efeito de borda na interpolação (VIOLA et al., 2010; SILVA et al., 2011; MELLO et al., 2012; DANTAS, 2016; BATISTA et al., 2018; RODRIGUES, 2020; NETO et al., 2021; BARATTO et al., 2022).

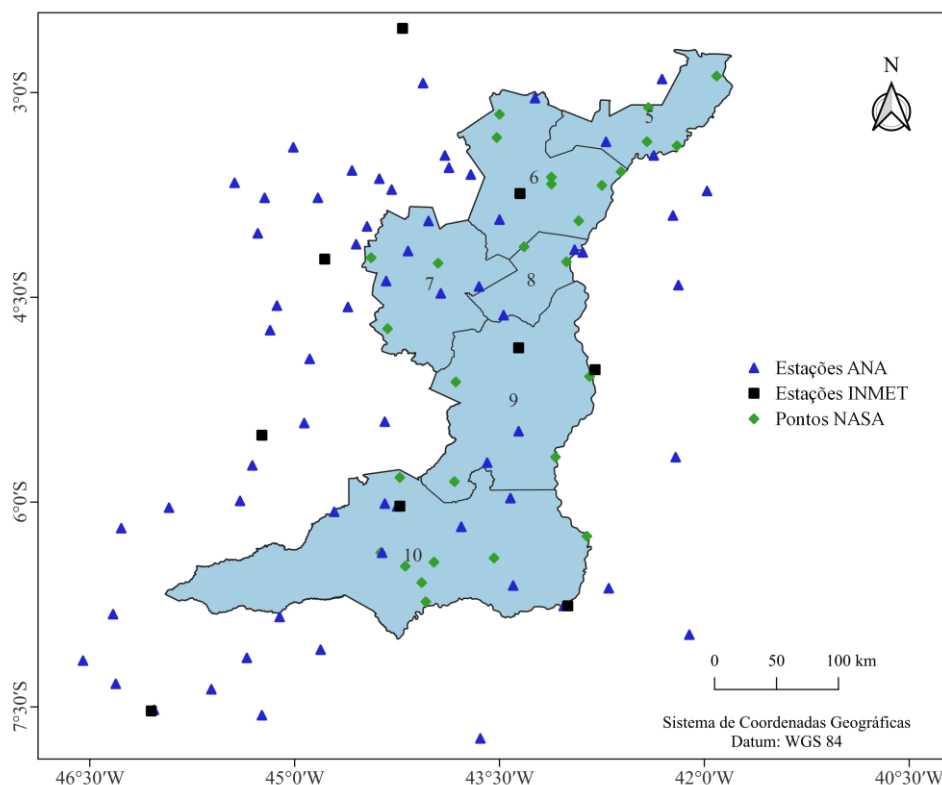


Figura 2 - Mapa de espacialização das estações e/ou pontos. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com relação aos dados de temperatura média mensal do ar, estes foram adquiridos do banco de dados do INMET, além de dados estimados pelo software *Estima_T*, elaborado por Cavalcanti; Silva e Sousa (2006) e melhorado por Silva et al., (2006) para estimar as temperaturas mínima, máxima e média do ar na Região Nordeste do Brasil. Com o software mencionado é possível estimar as temperaturas para qualquer ponto no Estado do Maranhão a uma altitude máxima de 200 m. De posse dos dados de localização geográfica das estações da ANA instaladas dentro dos limites do LEM, estimou-se dados de temperatura média do ar para tais estações. O software estima dados de temperatura de 1950 até o presente, porém, neste estudo, o recorte de tempo utilizado foi somente até 31 de dezembro de 2021. Para estações da ANA instaladas a uma altitude superior a 200 m, os dados de temperatura média do ar foram adquiridos no banco de dados da NASA, entre 1981 a 2021.

2.3. Preenchimento de falhas nas séries históricas de precipitação e temperatura

Há cinco bacias hidrográficas, em parte, situadas no LEM (UEMA, 2016), sendo estas: Bacia do Rio Itapecuru; Bacia do Rio Munim; Bacia do Rio Preguiças; Bacia do Rio Peria; e a Bacia do Rio Parnaíba. Com a última sendo de domínio federal e as demais de domínio estadual. Assim, para cada necessidade de preenchimento de falhas de determinada estação, selecionou-se três postos vizinhos mais próximos instalados na mesma bacia hidrográfica ou região climatologicamente homogênea. Para a correção de falhas de dados nas séries históricas de precipitação pluvial adquiridas das estações da ANA foi utilizado o método da razão normal (do inglês: *normal-ratio method*), proposto por Paulhus e Kohler (1952), que se dá pela aplicação da Equação 1.

Equação 1:

$$P_x(m_i, a_i) = 3^{-1} * [(N_x/N_1) * P_1 + (N_x/N_2) * P_2 + (N_x/N_3) * P_3] \quad (1)$$

Onde: P_x é a precipitação pluvial faltante (em mm) do posto x num determinado mês m_i de um ano a_i ; N_x é precipitação pluvial total anual do ano a_i no posto P_x ; P_1 , P_2 e P_3 são os totais de chuvas mensais do mês m_i observados nos três postos vizinhos mais próximos; e N_1 , N_2 , N_3 são os totais anuais de chuva dos postos P_1 , P_2 e P_3 .

Para o preenchimento de falhas nos dados de chuva das estações do INMET, fez-se uso de dados adquiridos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), conforme metodologia utilizada por Corrêa; Carvalho e Mendes (2023). Para o preenchimento de falhas nos dados de temperatura média do ar das estações do INMET, além dos dados das estações meteorológicas automáticas do mesmo instituto, utilizou-se dados fornecidos pelo Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) (desenvolvido pelo INMET) assim como dados de temperatura do ar calculados por meio do modelo Consortium for Small-scale Modeling (COSMO), que conta com resolução horizontal de 7 km. As estações do INMET utilizadas como fontes principais de dados das séries históricas de temperatura do ar foram as estações meteorológicas convencionais. Isto devido ao fato destas contarem com maiores séries de observação dos dados de temperatura em relação às estações automáticas, que em sua maioria só entraram em operação no Estado do Maranhão a partir do ano de 2008.

Os dados de temperatura das estações automáticas e os calculados pelo modelo COSMO quando comparados com os dados das estações convencionais apresentaram altos coeficientes de determinação. Autores como Souza; Galvani e Assunção (2003), Pereira et al., (2008), Oliveira et al., (2010), Strassburger et al., (2011), Almeida e Hermenegídio (2013) e Carvalho et al., (2019) realizaram estudos comparando os dados de temperatura do ar dos dois modelos de estações, instaladas basicamente em um mesmo local e concluíram que estes são muito similares. Ainda, os dados de temperatura média do ar estimados tanto pelo software

Esima_T como os provindos do projeto NASA POWER apresentaram altos coeficientes de correlação quando confrontados com os dados do INMET.

2.4. Classificação climática de Thornthwaite

Para a determinação da classificação climática de um dado local ou região pelo método de Thornthwaite (1948), primeiro se calcula o balanço hídrico climatológico (BHC) proposto por Thornthwaite e Mather (1955), o qual exige somente as entradas com as variáveis precipitação pluvial e temperatura média do ar (AYOADE, 2007; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Em 1998, Rolim; Sentelhas e Barbieri elaboraram em ambiente ExcelTM uma planilha para cálculo do BHC. No presente estudo, tal planilha foi utilizada para agilidade nos cálculos, sendo inseridos os dados médios mensais de chuva (em mm) e temperatura média do ar (em °C). Considerando o perfil de produção vegetal mais explorado no LEM, em que o foco está na produção de culturas anuais, a capacidade de armazenamento de água do solo (CAD) utilizada foi de 100 mm, conforme Pereira; Angelocci e Sentelhas (2007, p. 93). Ainda, para efeito de correções no cálculo da ETP e demais variáveis em sequência, insere-se na planilha a latitude do local (em graus decimais) no qual está instalada a estação. As chaves da classificação climática estão descritas nas Tabelas 1-3, com adaptações feitas a partir de Thornthwaite (1948).

Tabela 1 - Primeira chave da classificação climática de Thornthwaite.

Tipos climáticos com base no índice de umidade (I_u)	
Tipo de clima	(I_u)
A – superúmido	100 ou maior
B ₄ – úmido	80 a 100
B ₃ – úmido	60 a 80
B ₂ – úmido	40 a 60
B ₁ – úmido	20 a 40
C ₂ – subúmido chuvoso	0 a 20
C ₁ – subúmido seco	-20 a 0
D – semiárido	-40 a -20
E – árido	-60 a -40

Tabela 2 - Segunda chave da classificação climática de Thornthwaite.

Subtipos climáticos com base no índice de aridez (I_a)	
Climas úmidos (A, B₄, B₃, B₂, B₁, C₂)	(I_a)
r – sem ou com pequena DEF	0 a 16,7
s – DEF moderada no verão	16,7 a 33,3
w – DEF moderada no inverno	16,7 a 33,3
s ₂ – grande DEF no verão	33,3 ou maior
w ₂ – grande DEF no inverno	33,3 ou maior
Subtipos climáticos com base no índice hídrico (I_h)	
Climas secos (C₁, D, E)	(I_h)
d – EXC pequeno ou nulo	0 a 10
s – EXC moderado no inverno	10 a 20
w – EXC moderado no verão	10 a 20
s ₂ – grande EXC no inverno	20 ou maior
w ₂ – grande EXC no verão	20 ou maior

Tabela 3 - Terceira e quarta chaves da classificação climática de Thornthwaite.

Tipos climáticos com base na evapotranspiração anual (índice térmico)		Subtipos climáticos com base na relação entre a ETP de verão e anual	
Tipos	ETP anual (cm)	Subtipos	ETP de verão/ETP anual (%)
A' – megatérmico	114 ou maior	a'	48,0 ou menor
B'₄ – mesotérmico	997 a 114	b'₄	51,9 a 48,0
B'₃ – mesotérmico	88,5 a 99,7	b'₃	51,9 a 56,3
B'₂ – mesotérmico	71,2 a 88,5	b'₂	56,3 a 61,6
B'₁ – mesotérmico	57,0 71,2	b'₁	61,6 a 68,0
C'₂ – microtérmico	42,7 a 57,0	c'₂	68,0 a 76,3
C'₁ – microtérmico	28,5 a 42,7	c'₁	76,3 a 88,0
D' – tundra	14,2 a 28,7	d'	88,0 ou maior
E' – gelo permanente	14,2 ou menor		

Por meio do BHC, determinam-se as variáveis evapotranspiração potencial (ETP), déficit hídrico (DEF) e excedente hídrico (EXC), as quais serão usadas posteriormente para os cálculos do índice hídrico (I_h), índice de aridez (I_a) e índice de umidade (I_u), descritos em Pereira; Angelocci e Sentelhas (2007, p. 120). Após tais cálculos, prossegue-se para a determinação do clima pela utilização das chaves de classificação climática. A primeira e terceira chave denotam o tipo climático, com letra maiúscula (A, B, C, D e E; A', B', C', D' e E'); e a segunda e quarta chave denota os subtipos climáticos, com letra minúscula (r, d, s e w; a', b', c' e d') (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

2.5. Geoestatística e regressão linear múltipla

Os dados de precipitação pluvial e ETP foram analisados por meio de procedimentos geoestatísticos. Testou-se a hipótese de normalidade de acordo com o teste de Shapiro e Wilk (1965) a 5% no software R, versão 4.3.2. Por meio do software System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), versão 9.0.2, ajustou-se os variogramas experimentais unidirecionais para os dados de precipitação mensais testando os modelos teóricos esférico, exponencial, gaussiano, stable (JOHNSON et al., 2001) e potência, considerando-se que na maioria das vezes tais modelos cobrem a dispersão geral dos eventos espaciais (YAMAMOTO; LANDIN, 2013). Os modelos teóricos citados podem ser consultados em Yamamoto e Landin (2013) e Oliveira (2017).

Para avaliar os melhores ajustes dos modelos baseou-se nos menores valores da soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e no maior coeficiente de determinação (R^2) (ROBERTSON, 2008; ALVARES et al., 2013). A qualidade dos modelos teóricos foi certificada por meio da técnica de validação cruzada e por meio do índice de dependência espacial (IDE), além do menor grau de aleatoriedade (GA) dos dados (YAMAMOTO; LANDIN, 2013). Para todos os pontos na técnica de validação cruzada seu valor medido é retirado e em seguida estimado, sendo o valor original reassumido após a estimação (FARACO et al., 2008; ROBERTSON, 2008; LI et al., 2011). O IDE foi utilizada com o objetivo de medir o efeito da variância estrutural sobre a variância total (patamar) da amostra, conforme recomendações de Alvares et al., (2011), o qual possui a seguinte classificação: IDE < 25%, fraco; 25% > ou = IDE < ou = 75%, moderado; e IDE > 75%, forte.

Utilizando os parâmetros estruturais dos variogramas teóricos derivados dos variogramas experimentais foram produzidos mapas pluviométricos e de ETP no software SAGA com resolução espacial de 90 m, idêntica à resolução do modelo digital de elevação (Figura 3) obtido do banco de dados geomorfométricos do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo analisados em todo o LEM mais de 8.727.760,0 pixels. Para a interpolação geoestatística foi utilizado um estimador de kringagem ordinária pontual. Posteriormente os mapas foram organizados no software Quantum GIS (QGIS), versão 3.28.9.

No software Excel da Microsoft®, a partir das variáveis independentes latitude (°), longitude (°) e altitude (m), foram geradas treze (13) equações (uma para cada mês e total anual) por meio de regressão linear múltipla para estimar a temperatura média do ar (T_m). Foram obtidos assim os índices B_1 , B_2 , B_3 que multiplicam cada uma das 3 variáveis citadas e mais a constante de interceptação B_0 , conforme Equação 2. Vale destacar que tal processo só foi realizado por necessidade dos índices em processos posteriores para a espacialização da temperatura média do ar no QGIS.

Equação 2:

$$T_m = B_0 \pm B_1 * \text{latitude} \pm B_2 * \text{longitude} \pm B_3 * \text{altitude} \quad (2)$$

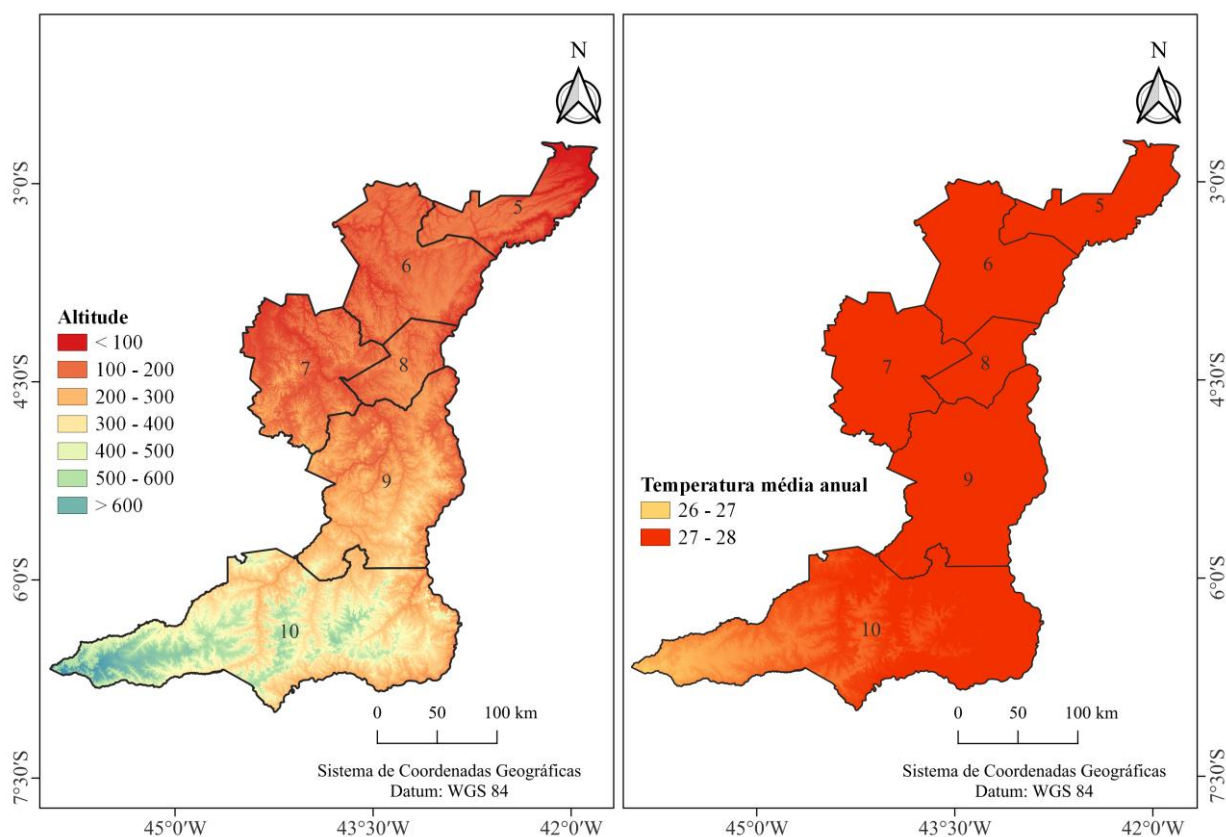


Figura 3 - Mapa de altitude (m) e temperatura média anual do ar (°C) no Leste maranhense. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com o software QGIS, a partir dos pontos de observação de precipitação pluvial na Figura 2, gerou-se imagens matriciais de latitude e longitude do LEM por meio de regressão polinomial e, em seguida, com a calculadora raster, deu-se entrada com as equações geradas para cada mês e total anual, gerando assim mapas de temperatura média do ar para o LEM (Figura 3), conforme metodologia descrita em Santos et al., (2022, p. 43-53). Vale destacar que tanto para a geração dos mapas de temperatura média do ar como para a classificação climática de

Thornthwaite foram utilizados somente os pontos dentro do perímetro do LEM, os quais totalizaram 50 pontos de observação meteorológica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Geoespacialização da precipitação pluvial e evapotranspiração potencial anual

Os dados pluviométricos e de ETP foram transformados, pelo fato destes possuírem uma distribuição assimétrica, com os valores de p próximos de zero, revelados pelo teste de normalidade (SHAPIRO; WILK, 1965). Cada mês e total anual foi melhor descrito pelo modelo teórico variográfico associado na Tabela 4. Isto foi acusado pela menor SQR, maior R², maior IDE e menor GA, dentre os modelos teóricos testados.

Tabela 4 - Modelos, parâmetros e qualidade de variogramas experimentais ajustados à precipitação e ETP mensal no Leste Maranhense.

Precipitação pluvial									
Meses	Modelo	C ₀ ¹	C ₀ + C ²	A ³	C/(C ₀ + C)	IDE ⁴	⁵ R ²	SQR ⁶	⁷ r
		mm ²		grau	%				
Jan	Esf.	0,0001	0,0059	3,99	98	Forte	0,97	3,61 10 ⁻³	0,99
Fev	Sta.	0,0001	0,02	2,8	96	Forte	0,94	6,80 10 ⁻²	0,96
Mar	Gauss.	0,0001	0,031	2,9	99	Forte	0,9	1,29 10 ⁻¹	0,95
Abr	Sta.	0,0001	0,095	3,5	99	Forte	0,94	1,81 10 ⁻¹	0,97
Mai	Sta.	0,0001	0,24	3,9	99	Forte	0,96	2,05 10 ⁻¹	0,98
Jun	Gauss.	0,00001	0,60	3,86	99	Forte	0,86	3,82 10 ⁻¹	0,99
Jul	Pot.	-	-	-	-	-	0,99	8,50 10 ⁻²	0,99
Ago	Efs.	0,0001	0,055	2,1	99	Forte	0,91	3,89 10 ⁻³	0,99
Set	Esf.	0,001	0,0353	1,33	97	Forte	0,86	1,82 10 ⁻²	0,99
Out	Pot.	-	-	-	-	-	0,81	1,11 10 ⁻²	0,99
Nov	Pot.	-	-	-	-	-	0,91	3,44 10 ⁻²	0,99
Dez	Sta.	0,0004	0,04	2,5	99	Forte	0,86	2,64 10 ⁻¹	0,94
Anual	Sta.	0,0001	0,016	2,46	99	Forte	0,87	8,43 10 ⁻²	0,95
Evapotranspiração potencial									
Jan	Gauss.	0,0003	0,0042	3,4	0,93	Forte	0,98	5,49 10 ⁻²	0,80
Fev	Gauss.	0,00081	0,00411	3,4	0,80	Forte	0,98	9,18 10 ⁻²	0,68
Mar	Sta.	0,001	0,0046	3,19	0,78	Forte	0,99	1,19 10 ⁻¹	0,66
Abr	Exp.	0,0008	0,0035	3,89	0,77	Forte	0,99	6,66 10 ⁻²	0,85
Mai	Exp.	0,0003	0,0027	5,2	0,89	Forte	0,81	4,15 10 ⁻²	0,90
Jun	Esf.	0,0005	0,00375	3,5	0,87	Forte	0,94	8,66 10 ⁻²	0,85
Jul	Esf.	0,0005	0,00355	3,4	0,86	Forte	0,93	8,42 10 ⁻²	0,84
Ago	Exp.	0,0005	0,0033	3,8	0,85	Forte	0,99	4,77 10 ⁻²	0,92
Set	Esf.	0,00099	0,00539	4	0,82	Forte	0,97	1,04 10 ⁻¹	0,85
Out	Exp.	0,0002	0,005	3,9	0,96	Forte	0,92	2,25 10 ⁻²	0,97
Nov	Esf.	0,001	0,0053	5,4	0,81	Forte	0,87	8,85 10 ⁻²	0,84
Dez	Gauss.	0,0005	0,0085	3,9	0,94	Forte	0,82	7,48 10 ⁻²	0,82
Anual	Esf.	0,0001	0,0013	4,45	0,92	Forte	0,90	1,16 10 ⁻²	0,94

Esf.: Esférico; Sta.: Stable; Gauss.: Gaussiano; Pot.: Potência; Exp.: Exponencial; C_0^1 : pepita; $C_0 + C^2$: patamar (C: variância estrutural); A^3 : alcance; IDE^4 : índice de dependência espacial; ${}^5R^2$: coeficiente de determinação do ajuste do modelo; SQR^6 : soma dos quadrados dos resíduos; 7r : coeficiente de correlação da validação cruzada. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Utilizou-se os conceitos da teoria das variáveis regionalizadas de Matheron (1971) para proceder com a análise dos dados de precipitação pluvial e evapotranspiração potencial dos 101 pontos de observações meteorológicas e a grande maioria dos ajustes geoestatísticos podem ser considerados de ótima qualidade, com exceção dos meses de julho, outubro e novembro, em que o modelo teórico experimental variográfico ajustado foi o de potência, sem patamar, para a variável precipitação pluvial (Tabela 4). Na maioria das vezes em que a amostragem não é suficiente ou incompleta, ou mesmo quando existe tendência nos dados, o variograma experimental não apresenta patamar, isto é, a variância continua aumentando indefinidamente com a distância e então este pode ser representado pelo variograma de potência (OLEA, 1999). Há técnicas para a remoção de tendências nos dados, como descritas brevemente por Molin; Amaral e Colaço (2015, p. 113-114). No entanto, em casos em que é possível modelar o variograma mesmo com a presença de tendência nos dados, os resultados da interpolação apresentam diferenças insignificantes em relação àqueles obtidos pela interpolação de dados com tendência removida (LANDIM; STURARO; MONTEIRO, 2002).

Para os variogramas com patamar, o efeito pepita (C_0) esteve dentro de um limite aceitável, em que sua divisão pela variância espacial (C) denuncia o GA dos dados, e seu valor deve ser menor ou igual a 0,30, indicando que a análise variográfica pode ser empregada para a interpolação (YAMAMOTO; LANDIN, 2013). Valores altos de C_0 e que fazem o GA dos dados serem superiores a 0,30, indicam que a variável medida é afetada por componentes de variabilidade não detectáveis pelo variograma experimental (ALVARES et al., 2013), sendo necessário nesta situação recorrer a outros métodos de interpolação (YAMAMOTO; LANDIN, 2013). O efeito do GA dos dados pode ser observado especificamente nos meses de fevereiro ($GA = 0,25$) e março ($GA = 0,28$) (Tabela 4) para a evapotranspiração potencial, em que, mesmo com um alto coeficiente de determinação (R^2) do ajuste do modelo, os dados preditos se desviaram de forma significativa dos observados, revelados pelo coeficiente de correlação r da validação cruzada abaixo de 0,70.

3.1. Mapas de precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial

Na Região Nordeste do Brasil, em grande parte de seu território, especialmente sua parte norte, a dinâmica das chuvas é regida pela Zona de Convergência Intertropical (MOLION; BERNARDO, 2002; REBOITA et al., 2012) quando esta se desloca para o Sul do equador geográfico, a aproximadamente -3° , a partir do mês de fevereiro até maio (LABGEO/UEMA, 2002; REBOITA et al., 2016). Outros sistemas responsáveis pelas chuvas no LEM são as perturbações ondulatórias dos alísios, as linhas de instabilidade, El Niño/Oscilação Sul e La Niña, além das anomalias positivas e negativas na temperatura da superfície do mar, nas bacias dos Oceanos Atlântico e Pacífico (MOLION; BERNARDO, 2000; FERREIRA; MELLO, 2005; DINIZ; SANTOS; SANTO, 2008; SANTOS; AQUINO, 2017).

Na Figura 4, observa-se que os menores volumes de precipitação ocorrem no extremo Norte e Sul do LEM, nas microrregiões do Baixo Parnaíba Maranhense (5) e Chapadas do Alto Itapecuru (10), enquanto que os maiores volumes ocorrem nas demais microrregiões, Chapadinha (6) e Codó (7), principalmente. Em relação à ETP, os maiores volumes evapotranspirados por ano ocorrem em partes das microrregiões 5 e 10, com esta última também contando com a menor taxa de ETP. Existe uma relação inversa entre essas duas variáveis, em regiões com maiores volumes de precipitação pluvial, há uma menor taxa de radiação solar, com

o aumento da umidade relativa do ar e pressão de vapor, com redução da evapotranspiração (COLLISCHONN; TUCCI, 2014).

Em relação ao recorte do território do LEM, o mapa mostra uma variabilidade pluviométrica anual (Figura 4) que concorda com o mapa da última normal climatológica (1991-2020) publicado pelo INMET (<<https://portal.inmet.gov.br/>>). A precipitação anual variou de 991 mm a 1729 mm, semelhante ao divulgado em outros estudos (LABGEO/UEMA, 2002; MARENGO et al., 2011; ALVARES et al., 2013; LIMA et al., 2021; APARECIDO et al., 2022). No entanto, a mesma semelhança não foi identificada para o mapa de evapotranspiração potencial (Figura 4) apresentado neste estudo e o apresentado pelo INMET para a última normal climatológica. Os valores de evapotranspiração variaram de 1687 a 2102 mm, concordando, em parte, com resultados publicados pelo NUGEO (UEMA, 2012), sendo inferiores aos publicados pelo INMET e superiores aos encontrados por Lima et al., (2021) e Aparecido et al., (2022), mas que, no geral, se aproximam mais dos divulgados pelo INMET. Tal diferenças nos resultados podem estar relacionada às metodologias utilizadas, à densidade de pontos de observações meteorológicas (ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007; ALVARES et al., 2013) e à resolução temporal e espacial empregada em cada estudo.

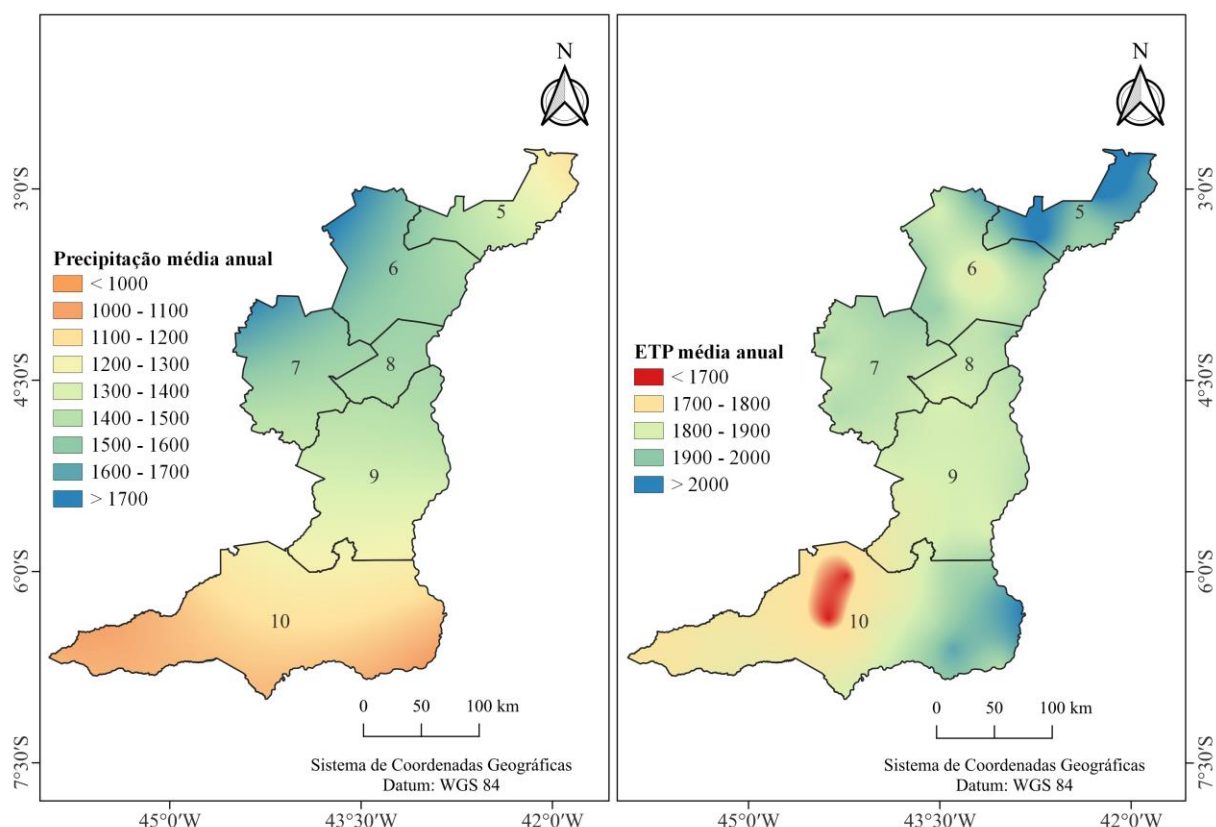


Figura 4 - Precipitação pluvial e ETP média anual, em mm, no Leste Maranhense. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Também, um resultado importante observado neste estudo é fato de sempre a ETP anual ser superior à precipitação pluviométrica anual no LEM. Este foi um resultado também encontrado por Corrêa; Carvalho e Mendes (2023), quando atualizaram a classificação climática e o BHC para o estado do Maranhão pelas metodologias de Köppen e Thornthwaite; e, por Novais e Machado (2023), quando determinaram os climas do Brasil, de acordo com a

classificação climática proposta por Novais (2019). Em ambos os estudos, para grande parte do Estado do Maranhão a ETP foi superior à precipitação pluvial anual, sendo o inverso disso detectado somente para o extremo norte do Estado, em regiões mais litorâneas. Isto acontece devido a taxa evaporativa da atmosfera ser bem elevada em função das altas temperaturas na Região Nordeste do Brasil (SANTOS, 2022; NOVAIS; MACHADO, 2023), especialmente em sua parte mais central com bioma Caatinga, onde predominam os climas semiárido quente e megatérmico, com totais pluviométricos anuais inferiores a 1000 mm, e mesmo menores que 700 mm em algumas de suas regiões (ALVARES et al., 2013). Outros fatores que contribuem para uma maior demanda de vapor d'água pela atmosfera são o vento, pelo fenômeno de advecção, com o transporte horizontal de energia de uma área mais seca para uma área mais úmida, além da umidade relativa do ar e do albedo da vegetação (AYOADE, 2007; MENDOÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

3.2. Clima subúmido seco, C₁

Para todo o LEM os climas determinados com base na evapotranspiração anual foram megatérmicos, A' (ETP > ou = 114 cm) e concentração da evapotranspiração de verão em relação à anual inferior a 48%, a' (Tabela 3), sendo caracterizadas as estações do ano com base nas definições de solstícios e equinócios. Em 2002 o Núcleo Geoambiental da UEMA (LABGEO/UEMA, 2002), e mais recentemente Corrêa; Carvalho e Mendes (2023), em estudos realizados para todo o Estado do Maranhão, também encontraram resultados semelhantes aos do presente estudo.

O tipo climático C₁, sub-úmido seco (Figura 5), provindo do índice de umidade I_u ocorre na grande maioria do LEM, ocupando 94% de seu território (Tabela 5), em todas as faixas de altitude e temperatura média anual do ar (Figura 3), com as chuvas concentradas principalmente no verão. Este clima foi detectado no LEM em estudos anteriores, porém com uma ocupação territorial menor (LABGEO/UEMA, 2002; FEDDEMA, 2005; MARCOS JUNIOR et al., 2018; CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023). Outros estudos como os publicados por Lima et al., (2021) e Aparecido et al., (2022), que usaram uma resolução temporal semelhante à do presente estudo, não detectaram tal tipo climático no LEM. A Figura 5 mostra o mapa com os climas de Thornthwaite determinados a parti de 50 pontos de observação meteorológicas dentro do perímetro do LEM.

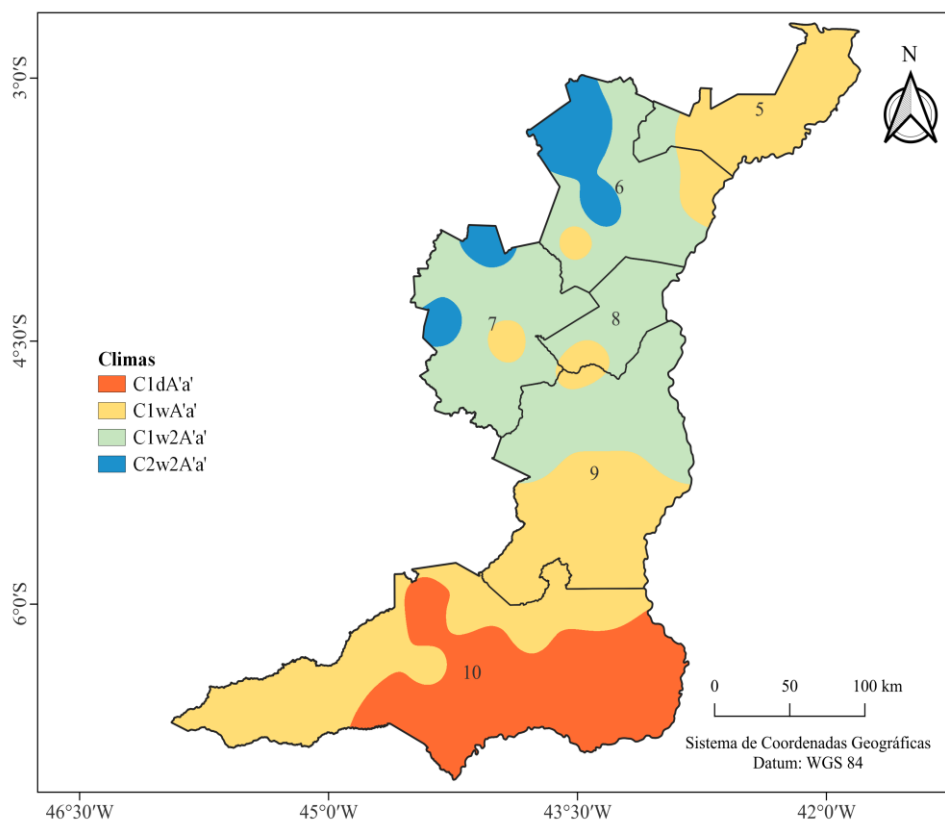


Figura 5 - Climas de Thornthwaite para o Leste Maranhense. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Uma possível explicação para as diferenças entre os resultados encontrados em relação aos publicados por Lima et al., (2021), é que tais autores desenvolveram seu estudo para todo o Brasil utilizando 100% dos dados de precipitação e temperatura derivados do banco de dados da NASA (NASA POWER), enquanto no presente estudo, dos 101 pontos de observação meteorológica, somente 29 são da NASA. Os dados da NASA são provenientes de medições feitas por satélites de monitoramento ambiental, em que estes são comparados com dados de estações meteorológicas instaladas na superfície terrestre. Os erros de medição comuns para um mesmo período são: o satélite registrou dados quando a(s) estação(ões) meteorológica(s) não registrou ou registraram; o satélite não registrou dados quando estes foram registrados na(s) estação(ões); muitas vezes os valores registrados pelas duas fontes de observação possuem uma certa discrepância, podendo ocorrer super ou subestimativa nos totais observados pelo satélite. As fontes de dados podem causar divergências nos resultados de estudos que abrangem a mesma área numa resolução de tempo semelhante, como foi verificado por Duarte e Sentelhas (2019). A Tabela 5 mostra a proporção de cada área ocupada por cada tipo climático de Thornthwaite nas microrregiões do LEM.

Tabela 5 - Proporção de ocorrência de cada tipo de clima de Thornthwaite nas microrregiões do Leste Maranhense.

Microrregiões	km ²	C _{1d} A'a'	C _{1w} A'a'	C _{1w₂} A'a'	C _{2w₂} A'a'
				%	
Baixo Parnaíba Maranhense	6.031,39	-	87,7	12,3	-
Caxias	15.337,43	-	54,7	45,3	-
Chapadas do Alto Itapecuru	25.010,78	55,8	44,2	-	-
Chapadinha	10.793,44	-	13,7	58,5	27,8
Codó	9.913,65	-	5,7	81,6	12,7
Coelho Neto	3.608,17	-	13,4	86,6	-
Leste Maranhense	70.694,86	19,7	38,6	35,7	6,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Referente aos resultados publicados por Aparecido et al., (2022), a base de dados similar à do atual estudo é a do INMET, com uma resolução temporal de 1980 a 2016, cujas estações meteorológicas de Chapadinha-MA, Caxias-MA e Colinas-MA também foram utilizadas no atual trabalho. Um fato importante a ser observado, e que pode ter influenciado nas diferenças de resultados, é que no estudo citado os autores não mencionam se adotaram alguma técnica de preenchimento de dados faltantes nas séries históricas dos dados. Dados faltantes na série histórica é um dos problemas mais comuns em base de dados meteorológicos (inclusive a do INMET) pelos inúmeros eventos que podem ocorrer e comprometer o registro dos dados pelas estações, sendo necessário na grande maioria das vezes os pesquisadores recorrerem à diferentes métodos de preenchimento de dados faltantes, como por exemplo, o método da razão normal proposto por Paulhus e Kohler (1952), dentre outros.

O subtipo climático “d”, derivado do índice hídrico (I_h), o qual caracteriza regiões com excedente hídrico pequeno ou nulo, ocorre mais para a parte Sul do LEM (Figura 5), na microrregião Chapadas do Itapecuru (10), em altitudes que variam de 200 a 600 m (Figura 3), com precipitação anual entre 991 mm e 1300 mm, e evapotranspiração a partir de 1687 mm (Figura 4), ocupando mais de 55% da área da microrregião citada (Tabela 5). Este subtipo climático também foi detectado por Corrêa et al., (2023) para o município de Floriano-PI, o qual conta com uma estação meteorológica do INMET instalada muito próxima da divisa política com o Estado do Maranhão e da região em que tal subtipo climático foi detectado no LEM.

O subtipo climático “w”, que caracteriza regiões com excedente hídrico moderado no verão (Figura 5), é aquele que ocorre em maior proporção no LEM, cobrindo 38,6% de sua área (Tabela 5), com ocorrência desde as regiões Norte e Central até o Sul do LEM, se fazendo presente praticamente em todas as faixas de altitude, temperatura, precipitação e ETP, além de estar presente em todas as microrregiões do LEM, ocupando a maior parte do território da microrregião do Baixo Parnaíba Maranhense (87,7%) e Caxias (54,7%).

Em relação ao subtipo climático “w₂”, associado ao clima subúmido seco (Figura 5), o qual caracteriza regiões com grande excedente hídrico no verão, este ocorre no sentido Centro-Norte do LEM, em altitudes inferiores a 100 m até 400 m (Figura 3), com precipitações que vão até 1700 mm e ETP de 1700 mm a 2000 mm (Figura 4), além de temperatura média anual de 27 °C a 28 °C, respectivamente. Ocupa a maior parte das áreas das microrregiões de Chapadinha (58,5%), Codó (81,6%) e Coelho Neto (86,6%), sendo o segundo subtipo climático que mais ocorre em todo o LEM (Tabela 5).

3.3. Clima subúmido chuvoso, C₂

O tipo climático C₂ (Figura 5), ocorre em menor proporção no LEM, ocupando 6% de seu território (Tabela 5). Tal tipo de clima também foi detectado em estudos anteriores no LEM (LABGEO/UEMA, 2002; FEDDEMA, 2005; MARCOS JUNIOR et al., 2018; LIMA et al., 2021; APARECIDO et al., 2022; CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023), em todos estes estudos ocupando maiores proporções de área. Ocupa regiões com os maiores totais de precipitação, a partir de 1500 mm (Figura 4), concentradas em sua maioria entre o verão e outono, em altitudes inferiores a 100 m até 200 m (Figura 3) e ETP de 1700 mm a 2000 mm (Figura 4).

O subtipo climático “w₂”, associado ao clima subúmido C₂, que caracteriza regiões com grande deficiência hídrica no inverno (Figura 5), ocupa quase 28% da microrregião de Chapadinha e um pouco mais de 12% da microrregião de Codó (Tabela 5). Este subtipo climático também foi detectado no LEM no município de Chapadinha por Corrêa; Carvalho e Mendes (2023), assim também como para o município de Bacabal, que não faz parte do LEM, mas é limítrofe deste, na qual a estação meteorológica do INMET instalada neste também foi utilizada no atual estudo.

No geral, o mês de março é o mais chuvoso para os 4 tipos climáticos e o inverso disto ocorre no mês de agosto, sendo este o que conta com os menores acumulados de precipitação, concordando com o que foi identificado pelo LABGEO/UEMA (2002) e Corrêa; Carvalho e Mendes (2023). O mês mais quente do ano, em média, é outubro, superando os 30 °C em alguns municípios, e o mês mais frio é fevereiro com temperaturas inferiores a 27 °C em municípios de maior altitude como Mirador, Colinas, Sucupira do Norte e Pastos Bons, por exemplo. Ainda, os extratos do balanço hídrico climatológico para cada tipo de clima em cada município exibem bem o aumento do excedente hídrico em função dos tipos climáticos C₁ e C₂, e seus respectivos subtipos climáticos associados.

Para outras regiões do Brasil, o clima subúmido seco (C₁) foi identificado por Lima et al., (2021) em todos os Estados da Região Nordeste, além dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro na Região Sudeste do Brasil. Na Região Sudeste o mesmo foi identificado por Rolim; Camargo e Moraes (2007) no Estado de São Paulo, e na Região Sul foi identificado por Aparecido et al., (2016) no Estado do Paraná.

Em relação ao clima subúmido chuvoso (C₂), a nível de Brasil, este foi identificado por Lima et al., (2021) para os demais Estados da Região Nordeste e Sudeste, e nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul na Região Centro-Oeste, assim como no Estado do Tocantins na Região Norte. Na Região Sul este tipo climático foi identificado por Aparecido et al., (2016) no Estado do Paraná. A Figura 6 mostra a precipitação, temperatura e extrato do BHC representativos de cada tipo climático de Thornthwaite para o LEM.

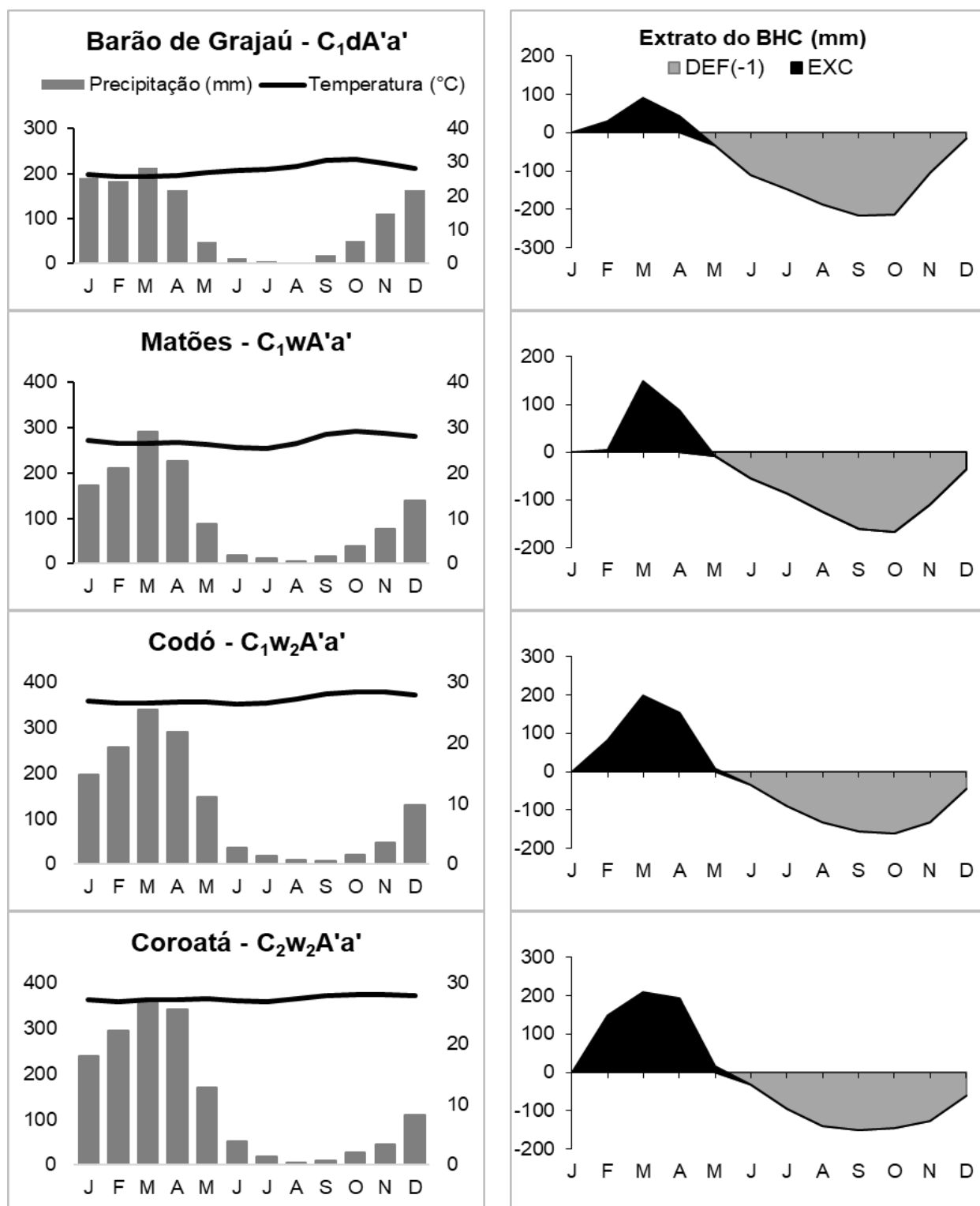


Figura 6 - Precipitação, temperatura e balanço hídrico mensais para municípios do Leste Maranhense representando cada tipo de clima de Thornthwaite. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em comparação com a classificação climática de Köppen-Geiger, que ainda é a classificação mais utilizada no mundo (ROLIM; CAMARGO; MORAES, 2007; ALVARES et al., 2013), no LEM, estes climas subúmido seco e chuvoso ocupam áreas com climas tropicais de savana, sendo eles Aw, Aw' e As, respectivamente (KOTTEK et al., 2006; SPAROVEK; VAN LIER; NETO, 2007; PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007; ALVARES et al., 2013;

CORRÊA; CARVALHO; MENDES, 2023). Ainda, em relação à classificação climática proposta por Novais (2019) e aplicada para todo o Brasil por Novais e Machado (2023), os climas encontrados no presente estudo correspondem, em sua grande maioria, aos climas Equatorial semisseco, nordestino do Brasil (Eq*neb) e Equatorial seco, nordestino do Brasil (Eq**neb).

4. CONCLUSÕES

O mapa climático de Thornthwaite desenvolvido neste estudo melhorou e destacou os diferentes climas no Leste Maranhense em relação aos outros mapas publicados anteriormente que abrangem esta mesorregião do Estado do Maranhão.

Com a resolução espacial de 90 m x 90 m utilizada, por meio dos tipos climáticos determinados, é possível se ter uma visão climática mais detalhada para o Leste Maranhense, tanto a nível regional e local, de uma forma nunca antes relatado, o que facilita o planejamento da produção agrícola e urbana, assim como a elaboração de políticas sustentáveis para a amenização da crescente fragmentação das paisagens. Foram analisados mais de 8.727.760,0 pixels, sendo identificados dois tipos climáticos, subúmido seco e subúmido (C1, 94% e C2, 6%), descritos pelos subtipos C1dA'a', C1wA'a', C1w2A'a' e C2w2A'a'.

Levando-se em conta que a última normal climatológica (1991-2020) foi publicada recentemente pelo INMET, e que os dados utilizados neste estudo estão em sua grande maioria dentro deste período, este mapa climático de Thornthwaite se manterá preciso pelo menos para as próximas três décadas para o Leste Maranhense.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), à National Aeronautics and Space Administration (NASA), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e ao Sistemas de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO) pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Séries históricas de estações**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>.

ALMEIDA, H. A. de; HERMENEGÍDIO, G. M. dos S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, 2013.

ALVARES, A. A.; GONÇALVES, J. L. de M.; VIEIRA, S. R.; SILVA, C. R. da; FRANCISCATTE, W. Spatial variability of physical and chemical attributes of some forest soils in southeastern of Brazil. **Scientia Agricola**. Piracicaba, Brazil. v. 68, n. 6, p. 697-705, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, p. 407-427, 2012.

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.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; ALVES, B. E.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. Climatic classification and semiarid zone regionalization under distinct rainfall scenarios, of the Piauí State, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**. Fortaleza, CE. v. 36, p. 143-151, 2005.

APARECIDO, L. E. de O.; MENEZES, K. C. de; LORENÇONE, P. A.; LORENÇONE, J. A.; MORAES, J. R. da S. C. de; ROLIM, G. de S. Climate classification in future scenarios for Maranhão State, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, n. 6, p. 855-878, 2022.

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. de S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. de; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the states of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12. ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 332 p. 2007.

BARATTO, P. F. B.; CECÍLIO, R. A.; TEIXEIRA, D. B. de S.; ZANETTI, S. S.; XAVIER, A. C. Espacialização da precipitação diária em bacias hidrográficas do Sul do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 3, p. 385-404, 2022.

BATISTA, M. L.; COELHO, G.; TEIXEIRA, M. B. dos R.; OLIVEIRA, M. S. de. Estimadores de semivariância: análise de desempenho no mapeamento da precipitação anual para o Estado de Minas Gerais. **Revista Scientia Agrária**, v. 19, n. 1, p. 64-74, 2018.

BRAGANÇA, A. The economic consequences of the agricultural expansion in matopiba. **Revista Brasileira de Economia**. Rio de Janeiro, RJ. v. 72, n. 2, p. 161-185, 2018.

CARVALHO, M. W. L.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SENTELHAS, P. C. Comparação de dados meteorológicos e estimativa da radiação líquida e evapotranspiração de referência utilizando estações convencional e automática. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 285-292, 2019.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. de A. S. de. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Dados pluviométricos**. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>.

COLLISCHONN, B.; TUCCI, C. E. M. Relações Regionais entre Precipitação e Evapotranspiração Mensais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 205-214, 2014.

CORRÊA, W. C.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, n. 19, p. 517-543, 2023.

DANTAS, S. P. Método de interpolação aplicado à espacialização de chuvas para o município de Jaguaretam-Ce. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, Número Especial: III Simpósio de Geografia Física do Nordeste – Caicó/RN, 2016.

DINIZ, A. F.; SANTOS, R. L.; SANTO, S. M. Avaliação dos riscos de seca para o município de Feira de Santana-BA associado à influência do El Niño no semiárido do nordeste brasileiro. +**Geografia's**, Feira de Santana, n. 1, p. 18-24, 2008. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/7810370-Avaliacao-dos-riscos-de-seca-para-o-municipio-de-feira-de-santana-ba-associado-a-influencia-do-el-nino-no-semi-arido-do-nordeste-brasileiro.html>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

DUARTE, Y. C. N.; SENTELHAS, P. C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets-how good they are for estimating maize yields in Brazil? **International of Biometeorology**, v. 64, p. 319-329, 2019.

ELGUINDI, N.; BERNARDES, S.; GRUNDSTEIN, A.; FEDEMMA, J. Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21st century using a modified Thornthwaite climate classification. **Climate Change**, v. 122, p. 523-538, 2014.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A. da; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008.

FEDEMMA, J. J. A revised Thornthwaite-type global climate classification. **Physical Geography**, v. 26, n. 6, p. 442-466, 2005.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M. de; SANTOS, D.; MATOS, R. M. de. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

GRUNDSTEIN, A. Assessing climate change in the contiguous United States using a modified Thornthwaite climate classification scheme. **The Professional Geographer**, v. 60, n. 3, p. 398-412, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Portal de Mapas do IBGE**. 2021. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 3 jan. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agropecuária**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/ma>>. Acesso em: 13 out. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>.

IZZO, M.; MARATEA, A.; AUCELLI, P.; ROSSKOPF, C. A new climatic map of the Dominican Republic based on the Thornthwaite classification. **Physical Geography**, v. 31, n. 5, p. 455-472, 2010.

JOHNSON, K.; VER HOEF, J. M.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. **ArcGIS 9: using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands: ESRI, 306 p. 2001.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, n. 1, p. 171- 182, 2001.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. UNESP/campus de Rio Claro, Texto Didático 07, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/4039626/Krigagem_Ordin%C3%A1ria_para_situa%C3%A7%C3%B5es_com_Tend%C3%A2ncia_Regionalizada>. Acesso em: 02 nov. 2023.

LI, J.; HEAP, A. D.; POTTER, A.; DANIELL, J. J. Application of machine learning methods to spatial interpolation of environmental variables. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, p. 1647-1659, 2011.

LIMA, R. F. de; APARECIDO, L. E. de O.; LOURENÇO, J. A.; LOURENÇO, P. A.; MENESES, K. C. de.; MORAES, J. R. da S. C. de; ROLIM, G. de S. Climate change in Brazil: future scenarios classified by Thornthwaite (1948). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 146, p. 1367-1386, 2021.

MARCOS JUNIOR, A. D.; SILVEIRA, C. da S.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. das C.; GUIMARÃES, S. O.; COSTA, J. M. F. da. Classificação climática de Thornthwaite para o Brasil com base em cenários de mudanças climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 647-664, 2018.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no**

semiárido brasileiro. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, PB. 40 p. 2011.

MARTINS, P. A. da S.; QUERINO, C. A. dos S.; QUERINO, J. K. A. da S.; MOURA, M. A. L.; NUNES, D. D.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Updating of the Köppen and Thornthwaite and Mather (1955) climate classification system for the Southern Amazonas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 43, p. 1-13, 2023.

MATHERON, G. **The Theory of Regionalized Variables and Its Applications.** – Ecole de Mines, Fontainebleau. 218 p. 1971.

MEDEIROS, R. M. de; SILVA, J. A. S. da; SILVA, A. de O.; MATOS, R. M. de; BALBINO, D. P. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para a área produtora da banana do município de Barbalha, CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE. v. 7, n. 4, p. 258-268, 2013.

MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. da. Distribuição espacial da precipitação e da Erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1878-1891, 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 206 p. 2007.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. p. 1334-1342, 2000. CD-ROM.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, p. 1-10, 2002.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 530 p. 2009.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA POWER.** Disponível em: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>>.

NETO, V. L. S.; SOUZA, L. B. E; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado do Tocantins, Brasil. **Research, Society and development**, v. 10, n. 3, p. 1-20, 2021.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado.** Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, n. 19, p. 1-39, 2023.

OLIVEIRA, A. D. de; ALMEIDA, B. M. de; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 108-114, 2010.

OLIVEIRA, K. A. **Estudo espaço-temporal de riscos de incêndios florestais na Amazônia brasileira.** 2017. Tese (Doutorado) – Curso de Meteorologia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres, 436 p. 1981.

PAULHUS, J. L. H.; KOHLER, M. A. Interpolation of missing precipitation records. **Monthly Weather Review**, v. 80, p. 129-133, 1952.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633-1644, 2007.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. ed. rev. e ampl. Piracicaba, SP. 203 p. 2007.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina-PR. **Semina Ciências Agrárias**, v. 29, n.2, p. 299-306, 2008.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didática**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R. P.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

ROBERTSON, G. P. **GS⁺: Geostatistics for the Environmental Sciences**. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA. 2008.

RODRIGUES, J. M. Espacialização das chuvas em uma bacia hidrográfica no semiárido da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 1, p. 28-35, 2020.

ROLIM, G. de S.; CAMARGO, M. B. P. de; MORAES, J. F. L. de. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente ExcelTM para cálculos de Balanços Hídricos: Normal, Sequencial, de Cultura e de Produtividade Real e Potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, A. R. dos et al. **Curso espacialização de dados meteorológicos no QGIS (EDM-QGIS) [livro eletrônico]**: videoaulas descritas passo a passo. Alegre, ES: CAUFES, 2022. --(Mundo Geomática; 1) PDF. Disponível em: <<https://www.mundogeomatica.com/livrosmg.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

SANTOS, D. Entenda a evapotranspiração no Brasil e a disponibilidade hídrica. **BoosterAgro**. 2022. Disponível em: <<https://boosteragro.com/blog-po/evapotranspiracao-no-brasil/>>. Acesso em: 24 out. 2023.

SANTOS, F. de A. dos; AQUINO, C. M. S. de. Análise da precipitação pluviométrica no município de Castelo do Piauí, Nordeste do Brasil. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 2, p. 619-633, 2017.

SHAPIRO, S. S.; M. B. WILK. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, A. D. G. da; SANTOS, A. L. B. dos; SANTOS, J. M. dos; LUCENA, R. L. Balanço hídrico climatológico e classificação climática do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Climatologia**. Dourados, MS, v. 30, p. 798-816, 2022.

SILVA, A. O. da; MOURA, G. B. de A.; KLAR, A. E. Classificação climática de Thornthwaite e sua aplicabilidade agroclimatológica nos diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 46-60, 2014.

SILVA, K. R. da; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, A. C. J. R. M.; GARCIA, G. de O. Interpolação espacial da precipitação no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417-427, 2011.

SILVA, V. de P. R.; SOUSA, F. de A. S.; CAVALCANTI, E. P.; SOUZA, E. P.; SILVA, B. B. da. Teleconnections between sea-surface temperature anomalies and air temperature in northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 68, p. 781-792, 2006.

SILVA, W. A. D.; SANTANA, J. S.; SILVA, C. M. da; NUNES, A. A. Crop coefcient regionalization for irrigated agriculture planning in Maranhão state-brazil. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP. v. 37, n. 5, p. 953-960, 2017.

SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO NA AGROPECUÁRIA (SISDAGRO). **Graus Dia**. Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/grausDia>>.

SOUZA, A. P. de; MOTA, L. L. da; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. de; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, I. de A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. de. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá. **Acta Scientiarum Technology**, v. 25, n. 2, p. 203-207, 2003.

SOUZA, S. O.; CORREA, W. de S. C.; FILETI, R. B.; VALE, C. C. do. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 83-92, 2014.

SPAROVEK, G.; VAN LIER, Q. de J.; NETO, D. D. Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 257-266, 2007.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A. de; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 273-278, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W. The climates of North America according to a new classification. **The Geographical Review**, v. 21, p. 633-655, 1931.

THORNTHWAITE, C. W. The climates of the earth. **The Geographical Review**, v. 23, p. 433-440, 1933.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 p. 1955.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). **Atlas do Maranhão**. 2. ed. Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO), São Luís. 2002. Disponível em: <<https://www.bellalex.net/arquivos/studio-idrogeologico-climatico-ed-altro.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**. São Luís, 165 p. 2016.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). **Evaporação e evapotranspiração**. Núcleo Geoambiental (NUGEO), 2012. Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/?page_id=137>. Acesso em: 19 out. 2023.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M. de; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIN, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 213 p. 2013.

YILMAZ, E.; ÇIÇEK, I. Thornthwaite climate classification of Turkey. **Journal of Human Sciences**, v. 13, n. 3, p. 3973-3994, 2016.