

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**WELLINGTON CRUZ CORRÊA**

**CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO  
ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL**

**CHAPADINHA – MA  
2022**

**WELLINGTON CRUZ CORRÊA**

**CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO  
ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal do Maranhão como um dos pré-  
requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Agrícola.

Orientador: Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho

**CHAPADINHA-MA**

**2022**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Corrêa, Wellington Cruz.

Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico  
no Estado do Maranhão, Brasil / Wellington Cruz Corrêa. -  
2022.

52 f.

Coorientador(a): Eduardo Silva dos Santos.

Orientador(a): Marcus Willame Lopes Carvalho.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do  
Maranhão, Chapadinha, 2022.

1. Balanço hídrico. 2. Climatologia. 3.  
Evapotranspiração. 4. Séries temporais. 5. Temperatura  
do ar. I. Carvalho, Marcus Willame Lopes. II. Santos,  
Eduardo Silva dos. III. Título.

**WELLINGTON CRUZ CORRÊA**

**CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O  
ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL**

Monografia submetida ao corpo docente da Universidade Federal do Maranhão / Centro de Ciências de Chapadinha, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Aprovado por:

---

Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho – Orientador

---

Prof. Dr. Eduardo Silva dos Santos - Coorientador

---

Prof. Dr. Telmo José Mendes

---

Prof. Dr. Patrício Gomes Leite

Chapadinha

2022

Aos meus pais, Antunes Cirino e Maria Corrêa, aos meus avós, Aluísio Corrêa, Anilda Corrêa e Maria Cirino, que, sempre me apoiaram de todas as formas possíveis, deram conselhos e continuam me educando de forma direta e indireta para que dia após dia eu me torne uma pessoa melhor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que está acima de todas as coisas e pelo qual eu recebi o dom da vida. Deixo aqui os meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma me ajudaram para que este trabalho fosse concluído, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho por toda a orientação quando precisei.

Agradeço ao meu irmão, Yuri Cirino e a todos os meus amigos de turma que começaram a batalha da graduação comigo e que de alguma forma me ajudaram, mesmo com uma simples frase de incentivo, porém com um significado enorme pra mim. Gostaria de citar aqui alguns deles: Revena Moura, Alayne Rodrigues, Adeldo Santos, Luiziane Sousa, Luís Eduardo, Renata Gamboa, Elida Dayana, Elinalva Conceição, Wilke Oliveira, Adriana Ferreira e todos os demais.

Gostaria de agradecer a todos os professores aos quais eu tive a honra de conhecer e aprender dos mais variados assuntos, atrelados aos mais diversos ramos do conhecimento. Deixo aqui um agradecimento especial à Prof.<sup>a</sup> Dra. Daiane Fossatti Dall'Oglío que me estendeu a mão no momento em que eu mais me senti desapontado na graduação e quem me deu e me dá conselhos muito valiosos, sou eternamente grato, professora.

Por último, mas não menos importante, deixo os meus agradecimentos à Universidade Federal do Maranhão, em especial ao Centro de Ciências de Chapadinha e todos os que o integram. Cada momento neste *Campus* foi especial pra mim e jamais sairá da minha memória. Muito obrigado.

“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você possa fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança”.

*Stephen Hawking*

## RESUMO

conhecimento do clima e a quantificação do balanço hídrico são de extrema importância para o planejamento de toda atividade de produção agrícola, pecuária, gestão de recursos hídricos, formulação de políticas ambientais, dimensionamento de obras urbanas e rurais, além de sua aplicação no entendimento geográfico e ecológico de um local ou região. Este trabalho teve como objetivo realizar a classificação climática e balanço hídrico climatológico para o Estado do Maranhão por meio do sistema de classificação climática de Köppen e Thornthwaite, e balanço hídrico proposto por Thornthwaite & Mather com base nos dados de séries temporais de temperatura do ar e precipitação pluvial média mensal da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), adotando-se uma capacidade de armazenamento de água do solo (CAD) de 100 mm. Com base na classificação climática de Köppen foram determinados para o Estado do Maranhão três tipos de climas diferentes, sendo estes Aw, Aw' e Am, com os dois primeiros caracterizados como Clima Tropical de Savana e o terceiro como Clima Tropical de Monção. Pela classificação climática de Thornthwaite foram determinados uma maior gama de climas, exibindo assim uma maior sensibilidade do método, mas que, no geral, todos os tipos climáticos são megatérmicos, com concentração da evapotranspiração potencial de verão inferior a 48,0% em relação ao total anual. A região Norte do Estado é mais úmida em relação às demais, com valores de precipitação pluvial anual superando os 2200 mm.

**Palavras-chave:** climatologia, séries temporais, temperatura do ar, evapotranspiração, balanço hídrico.



## ABSTRACT

Knowledge of the climate and quantification of the water balance are extremely important for the planning of all agricultural production activities, livestock, water resource management, formulation of environmental policies, dimensioning of urban and rural works, in addition to their application in geographic understanding and ecological character of a place or region. This work aimed to carry out the climate classification and climatological water balance for the State of Maranhão through the Köppen and Thornthwaite climate classification system, and water balance proposed by Thornthwaite & Mather based on data from time series of air temperature and monthly average rainfall from the network of meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET), adopting a soil water storage capacity (CAD) of 100 mm. Based on the Köppen climate classification, three types of different climates were determined for the State of Maranhão, these being Aw, Aw' and Am, with the first two characterized as Tropical Savannah Climate and the third as Tropical Monsoon Climate. By the Thornthwaite climate classification, a greater range of climates were determined, thus showing a greater sensitivity of the method, but that, in general, all climate types are megathermal, with concentration of potential summer evapotranspiration lower than 48.0% in relation to the total annual. The northern region of the state is wetter compared to the others, with annual rainfall values exceeding 2200 mm.

**Keywords:** climatology, time series, air temperature, evapotranspiration, water balance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Mapa de localização dos biomas presentes no Nordeste brasileiro.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 2 - Mapa de localização e distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais da rede do INMET, no Estado do Maranhão.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3 - Representação gráfica completa do BHC para a estação meteorológica convencional de “Chapadinha”, na região Leste do Estado do Maranhão.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Bacabal”, “São Luís”, “Turiaçu” e “Zé Doca”, nas regiões Meio Norte e Norte do Estado do Maranhão. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Caxias”, “Luzilândia” e “Teresina” na região Leste do Estado do Maranhão.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 6 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Barra do Corda”, “Colinas” e “Floriano” nas regiões Central e Sudeste do Estado do Maranhão.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Alto Parnaíba”, “Balsas”, “Carolina” e “Imperatriz” nas regiões Sul e Sudoeste do Estado do Maranhão.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8 – Classificações climáticas de Köppen e Thornthwaite.....</b>	<b>41</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Dados das estações meteorológicas convencionais avaliadas no estudo.....	20
<b>Tabela 2.</b> Caracterização do indicador de grupo climático. ....	24
<b>Tabela 3.</b> Caracterização do indicador de tipo climático. (continua).....	24
<b>Tabela 4.</b> Caracterização do indicador de subtipo climático. ....	25
<b>Tabela 5.</b> Tipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice de umidade (Iu).....	26
<b>Tabela 6.</b> Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice de aridez (Ia). ....	26
<b>Tabela 7.</b> Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice hídrico (Ih). ....	26
<b>Tabela 8.</b> Tipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice térmico (ETP anual). .....	27
<b>Tabela 9.</b> Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base na relação entre a ETP de verão e anual. ....	27
<b>Tabela 10.</b> Temperaturas médias mensais e anuais (em °C) nas estações meteorológicas convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão. ....	28
<b>Tabela 11.</b> Temperaturas médias de séries temporais de cinco anos (em °C) nas estações meteorológicas convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão. ....	29
<b>Tabela 12.</b> Precipitação média mensal e anual, nas estações meteorológicas convencionais da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão. ....	31
<b>Tabela 13.</b> Extrato das variáveis do balanço hídrico climatológico (em mm) segundo Thornthwaite; Mather (1955), para a estação meteorológica de Chapadinha, no período de 1996-2021. ....	33
<b>Tabela 14.</b> Dados e classificação climática de Thornthwaite para as estações meteorológicas convencionais avaliadas no estudo. ....	40

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Evapotranspiração potencial padrão .....	22
<b>Equação 2</b> – Evapotranspiração potencial padrão .....	22
<b>Equação 3</b> – Índice de calor regional .....	23
<b>Equação 4</b> – Índice de calor regional .....	23
<b>Equação 5</b> – Determinação do fator de correção.....	23
<b>Equação 6</b> – Índice hídrico .....	25
<b>Equação 7</b> – Índice de aridez.....	25
<b>Equação 8</b> – Índice de umidade.....	26

## LISTA DE SIGLAS

ALT	Alteração de Água no Solo
ANA	Agência Nacional de Águas
ARM	Armazenamento de Água no Solo
BHC	Balanço Hídrico Climatológico
CAD	Capacidade de Armazenamento de Água do Solo
CC	Capacidade de Campo
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COSMO	Consortium for Small-scale Modeling
DEF	Deficiência Hídrica
EMA's	Estações Meteorológicas Automáticas
EMC's	Estações Meteorológicas Convencionais
ET	Evapotranspiração
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETPp	Evapotranspiração Potencial Padrão
EXC	Excesso Hídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Linhas de Instabilidade
MEAN	Massa de ar Equatorial do Atlântico Norte
MEAS	Massa de ar Equatorial do Atlântico Sul
MEC	Massa de ar Equatorial Continental
MPA	Massa de ar Polar Atlântica
MTA	Massa de ar Tropical Atlântica
NDP	Número de Dias do Período
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PMP	Ponto de Murcha Permanente
POAs	Perturbações Ondulatórias dos Alísios
SCC	Sistema de Classificação Climática
SISDAGRO	Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
WWDR	UN World Water Development Report
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
NUGEO	Núcleo Geoambiental
LABGEO	Laboratório de Geoprocessamento

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Geral .....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	12
3.1. Sobre a importância de conhecer o clima.....	12
3.2. Classificação climática .....	13
3.3. Classificação de Köppen .....	14
3.4. Classificação climática de Thornthwaite.....	15
3.5. Balanço hídrico climatológico.....	16
3.6. Aplicações do balanço hídrico climatológico.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Localização.....	19
4.2. Obtenção dos dados .....	20
4.3. Balanço hídrico climatológico.....	22
4.4. Classificações climáticas .....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
6. CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

O uso racional da água vem se tornando cada vez mais importante em decorrência da constante demanda por este recurso natural, sobretudo na agropecuária. O conhecimento da distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica torna possível implementar diretrizes em prol da incorporação de políticas de gestão deste recurso (HORIKOSHI; FISCH, 2007; SANTOS *et al.*, 2010).

Dantas *et al.*, (2007, p. 1862), enfatizam que “a relação cultura/clima deve ser o objetivo dos estudos de balanços hídricos, de modo que seja feito um ajuste do cultivo com base nas condições climáticas, apresentando ainda aplicações para a definição de zoneamentos agroclimáticos, irrigações adicionais, hidrologia, dimensionamento de reservatórios, drenagem, dentre outras aplicações.”

Para a contabilização de água no solo, isto é, a computação das entradas e saídas de água no sistema, de forma simples, dá-se o nome de Balanço Hídrico Climático (BHC) (SILVA; BRACHT, 2010). Os trabalhos precursores que deram início aos estudos de balanço hídrico climático foram elaborados por Thornthwaite (1948) e Thornthwaite; Mather (1955). Por meio do balanço hídrico climatológico elaborado por Thornthwaite; Mather (1955) é possível acompanhar a variação do armazenamento de água no solo, seja na escala diária ou em escalas maiores como a mensal, utilizando como ponto de partida somente duas variáveis, que são: temperatura do ar e a precipitação pluvial (VAREJÃO-SILVA, 2006). A temperatura do ar e a precipitação, de forma geral, podem ser tidas como os elementos mais importantes do clima, uma vez que estas revelam os níveis energéticos e as disponibilidades hídricas da região (ROLIM *et al.*, 2007; CUNHA; MARTINS, 2009).

Neste sentido, as classificações climáticas elaboradas por Köppen (1931) e Thornthwaite (1948) são duas das mais utilizadas mundialmente (KUINCHTNER; BURIOL, 2001; PEREIRA *et al.*, 2007; ROLIM *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2013; ALVARES *et al.*, 2013), com a de Köppen tomando por base as características térmicas e a distribuição sazonal das chuvas, ao passo que a de Thornthwaite baseia-se essencialmente nos índices de umidade e eficiência térmica (SOUZA *et al.*, 2013). Ambas as classificações são de grande aplicabilidade em estudos relacionados a agricultura, recursos hídricos e ecologia (AYOADE, 2007).

No Estado do Maranhão existem 14 estações meteorológicas convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em que 12 destas contam com um período de dados superior à normal climatológica (30 anos) e, as outras duas, o período dos

dados é inferior a 15 anos. Com o advento das estações meteorológicas automáticas o Estado ganhou mais 17 estações, com a grande maioria passando a operar a partir do ano de 2008.

Obter conhecimentos a respeito das características climáticas do Estado do Maranhão, é de grande importância, pelo fato de sua escassez na literatura e, mais ainda, por sua aplicação no planejamento agrícola, gestão de recursos hídricos, dentre outras atividades antrópicas. Assim, objetivou-se determinar o balanço hídrico climatológico e sequentemente a classificação climática para doze municípios do Estado do Maranhão com base nos métodos elaborados por Köppen e Thornthwaite.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Fazer a classificação climática e determinar o balanço hídrico das diferentes regiões do Estado do Maranhão por meio de série histórica de dados de temperatura do ar (°C) e precipitação pluvial (mm) da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Classificar o clima das diferentes regiões do Estado do Maranhão por meio das classificações de Köppen (1931) e Thornthwaite (1948);
- Analisar a disponibilidade hídrica nas diferentes regiões por meio do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite; Mather (1955);
- Analisar o comportamento da temperatura média do ar para as diferentes regiões do Estado do Maranhão;
- Analisar o comportamento da precipitação e evapotranspiração potencial para as diferentes regiões do Estado do Maranhão.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Sobre a importância de conhecer o clima**

Mesmo com os avanços na ciência e tecnologia, o clima ainda se apresenta como a variável de maior peso na produção agrícola. Sendo a preparação das terras, semeadura, crescimento de cultivos, colheita, armazenamento, transporte e comercialização potencialmente



influenciáveis pelos fatores climáticos. A forma como se dá a distribuição global dos cultivos e da pecuária, tanto quanto a produção agrícola e produtividade de rebanhos possuem seus limites a partir de condições específicas determinadas por elementos climáticos como radiação solar, temperatura e umidade (AYOADE, 2007).

Lima & Andrade Junior (2020) ressaltam a importância do entendimento do clima e suas variáveis para que os danos e perdas consideráveis sejam evitados. Os autores frisam que tanto o excesso como o déficit de água são fatores limitantes para o andamento da produção no campo, sendo necessário se conhecer o quanto cada tipo de produção exige deste recurso natural para que o sucesso das atividades seja menos comprometido.

Técnicos e administradores que lidam com questões de planejamento e ocupação do espaço geográfico rural e urbano demonstram inquietação quando o assunto se trata de chuvas extremas (MELLO *et al.*, 1994). Algumas das aplicações que se dão a partir do conhecimento da chuva diária máxima é o desenvolvimento de trabalhos de conservação do solo, construção de estradas, barragens, projetos de irrigação e drenagem, dentre outros (VIEIRA, 1975), podendo-se citar como exemplo o dimensionamento de terraços, que para sua construção segura, tem que ser levado em conta o valor da chuva máxima diária no intuito de não comprometer a integridade de obras de alto custo e importância (LIMA *et al.*, 2020).

### **3.2. Classificação climática**

O objetivo da classificação climática é caracterizar uma área ou região que exibe homogeneidade quanto às suas características climática e biogeográficas. Pode-se adotar diferentes critérios para sua caracterização, ficando a cargo de quais são os fins que o classificador tem por objetivo. A partir da paisagem natural ou ainda por meio de índices climáticos se torna possível realizar a classificação de uma determinada área ou região (PEREIRA *et al.*, 2007).

Por meio de índices climáticos, o clima é caracterizado tomando-se por base os elementos meteorológicos e suas combinações. Índices mais simples, fazem uso de períodos específicos como mês mais frio ou mais quente e totais sazonais, por exemplo, utilizando-se dos seus valores médios e desvio padrão em torno das médias. Utilizando-se da Climatologia Estatística é possível elaborar estudos de probabilidade no que tange à ocorrência de eventos adversos extremos como: secas, chuvas intensas, temperaturas extremas, ventos extremos, dentre outros (PEREIRA *et al.*, 2007).

Souza *et al.*, (2013) ressaltam que, mesmo já havendo quantidade considerável de estudos realizados no Brasil a respeito de classificação climática, principalmente a de Köppen (1931), as dimensões continentais que o País possui fazem com que algumas diferenças espaciais sejam omitidas. Kuinchtner & Buriol (2001) comentam que é essencial realizar tais classificações de clima para regiões de extensões menores, como num Estado ou numa grande área de uma bacia hidrográfica, por exemplo, principalmente pelo fato de que cada classificação possui suas vantagens e desvantagens (NOBREGA, 2010).

### **3.3. Classificação de Köppen**

A classificação climática elaborada por Köppen é uma das mais conhecidas e utilizadas mundialmente (ROLIM *et al.*, 2007). Constam na classificação citada a definição de cinco grandes tipos ou grupos climáticos, sendo estes identificados pelas letras maiúsculas A, B, C, D e E. Os climas tipo B designam áreas secas ou que conta com vegetação xerófila, enquanto climas do tipo A, C ou D designam áreas de climas úmidos, os quais são definidos em função da temperatura média mensal. Clima do tipo E identifica áreas polares em que todos os meses possuem temperaturas médias inferiores à 10 °C (PEREIRA *et al.*, 2007).

Köppen adicionou ainda em sua classificação climática subtipos e variedades, os quais são identificados por letras minúsculas no intuito de considerar também a amplitude térmica anual e a distribuição sazonal das chuvas. Na classificação do autor, as letras minúsculas acompanham de forma sucessiva as letras maiúsculas que representam o tipo ou grupo, constituindo assim a fórmula climática (PEREIRA *et al.*, 2007). Vianello & Alves (1991) apresentam os detalhes referente a cada subtipo e variedade.

Em função das faixas de latitudes e do relevo com altitudes pouco pronunciadas, o território brasileiro conta com macroclimas do tipo A, B e C nessa classificação. O macroclima do tipo B é representado por BSh, isto é, clima semiárido quente do sertão, com a maior parte do ano seco - h significa temperatura média anual acima de 18 °C. Em grande parte do território brasileiro os climas que predominam são os megatérmicos, tendo seus respectivos subtipos sendo definidos em função da distribuição de chuvas durante o ano (PEREIRA *et al.*, 2007).

O sistema de classificação climática (SCC) elaborado por Köppen adota a vegetação natural como sendo a melhor forma de uma região exibir suas características climáticas, porém, há críticas sobre o SCC no que diz respeito aos limites térmicos e hídricos dos diferentes tipos climáticos determinados para cada região (ROLIM *et al.*, 2007). Ao longo dos anos o SCC proposto por Köppen já sofreu várias adaptações ou modificações para várias regiões ou países

do globo, podendo-se citar as realizadas por Trewartha (1954), Setzer (1966) e Stern *et al.*, (2005), com a primeira sendo adaptada para a determinação de diferentes tipos de clima dos Estados Unidos, a segunda com o objetivo de determinar os tipos climáticos do Estado de São Paulo, Brasil, e a última com o objetivo da determinação de novas áreas para estações meteorológicas e aplicação de estudos de mudanças climáticas (ROLIM *et al.*, 2007).

### **3.4. Classificação climática de Thornthwaite**

Pelo sistema de classificação climática proposto por Thornthwaite (1948), ao contrário do SCC de Köppen, este não considera a planta como sendo uma ferramenta de integração dos elementos climáticos, mais sim um meio físico pelo qual torna-se possível a transferência de água do solo para a atmosfera, onde o tipo de clima é definido como seco ou úmido em função da necessidade de água das plantas, o que em última análise, depende de um balanço hídrico (ROLIM, *et al.*, 2007).

Na classificação climática de Thornthwaite, são usados índices calculados em função do BHC normal. Com base nos valores anuais são definidos os índices relacionados à disponibilidade hídrica, tais quais: Índice hídrico,  $I_h$ ; Índice de aridez,  $I_a$ ; Índice de umidade,  $I_u$ . Usando como referência o índice de umidade, Thornthwaite definiu os tipos climáticos (A, B<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, D e E), e com os índices de aridez e hídrico, o autor determinou os subtipos:  $I_a$ ) r, s, w, s<sub>2</sub>, w<sub>2</sub> – climas úmidos A, B, C<sub>2</sub>;  $I_h$ ) d, s, w, s<sub>2</sub>, w<sub>2</sub> – climas secos C<sub>1</sub>, D, E (PEREIRA *et al.*, 2007).

Em função da evapotranspiração potencial anual, Thornthwaite definiu os dez tipos climáticos (A', B'<sub>4</sub>, B'<sub>3</sub>, B'<sub>2</sub>, B'<sub>1</sub>, C'<sub>2</sub>, C'<sub>1</sub>, E', D' e E') relacionados ao fator térmico, e ainda os oito subtipos (a', b'<sub>4</sub>, b'<sub>3</sub>, b'<sub>2</sub>, b'<sub>1</sub>, c'<sub>2</sub>, c'<sub>1</sub>, e d') que dependem da relação porcentual da ETP no verão/ETP anual. A justificativa de ter-se utilizado a ETP se dá pelo fato de que esta depende diretamente da temperatura (PEREIRA *et al.*, 2007).

Ao passo que Trewartha (1954) enfatiza sobre o SCC proposto por Thornthwaite ser um método mais refinado e indicado em relação ao de Köppen para aplicações agrícolas, o autor também dirige críticas ao fato de que a evapotranspiração potencial utilizada pelo SCC em questão seja função única da temperatura do ar por causa da carência de medidas de outros elementos meteorológicos.

### 3.5. Balanço hídrico climatológico

A contabilização do balanço hídrico climatológico (BHC) normal de um local ou região trata-se de um procedimento simples e útil para estudos climáticos. Por meio do BHC é possível obter informações referentes à disponibilidade de água no solo ao longo do ano, efetuando-se o cálculo de excedente (EXC), deficiência (DEF), retirada e reposição (ALT) hídrica no solo. Ainda, segundo os autores, com base no BHC é possível se ter uma visão ou ideia da disponibilidade térmica de uma região pelo cálculo da evapotranspiração potencial (ETP). (PEREIRA *et al.*, 2007, apud THORNTHWAITE; MATHER, 1955).

As duas variáveis meteorológicas requeridas pelo método de Thornthwaite; Mather (1955) para a contabilização do BHC são a temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Por causa de sua simplicidade e informações geradas, o BHC proposto pelos autores é um método bastante utilizado em estudos agroclimatológicos, assim como em estudos geográficos (PEREIRA *et al.*, 2007).

O balanço hídrico apoia-se no princípio de conservação de massa para quantificação da água num volume de solo vegetado. Por meio da variação de armazenamento de água no volume considerado ( $\Delta ARM$ ) se representa o balanço relativo entre o que entrou e o que saiu de água do volume de controle. Pelo fato de que a chuva é expressa em milímetro por metro quadrado de superfície, adota-se uma área unitária de  $1 \text{ m}^2$  com o objetivo de simplificar a contabilização do balanço hídrico para o volume de controle. Com isso, o volume de controle passa a ser em função somente da profundidade do sistema radicular das plantas. Na prática, tal volume de controle é admitido como representativo de toda a área em estudo, e a respeito do balanço hídrico climatológico, essa área se trata daquela representada pelo ponto de medida dos elementos climáticos, principalmente a chuva (PEREIRA *et al.*, 2007).

A precipitação (P), a evapotranspiração real (ETR), a evapotranspiração potencial (ETP), o armazenamento de água no solo (ARM), a deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC), constituem os principais componentes do balanço hídrico para definir a demanda e disponibilidade hídrica (PEREIRA *et al.*, (2002).

O passo inicial quando se quer elaborar um BHC é fazer a seleção da CAD, isto é, da lâmina de água que corresponde à porção quantificada pela diferença entre a capacidade de campo (CC%) do solo e o ponto de murcha permanente (PMP%) (PEREIRA *et al.*, 2007). Segundo Thornthwaite; Mather (1955), o BHC é mais utilizado com objetivos de se caracterizar a disponibilidade hídrica de determinada região em bases climatológicas e comparativas, o que

torna mais sensato se faz a seleção da CAD com base no tipo da cultura à qual se deseja aplicá-lo e não em função do tipo de solo.

A profundidade do sistema radicular de uma cultura é inversamente proporcional à diferença entre CC% e PMP%, comparando-se um solo arenoso e um argiloso, por exemplo, de modo que a CAD é aproximadamente igual para os dois tipos de solo, podendo-se adotar: uma CAD entre 25 e 50 mm, para hortaliças; entre 75 e 100 mm, para culturas anuais; entre 100 a 125mm, para culturas perenes; e entre 150 e 300mm, para espécies florestais. Independentemente do tipo de solo (PEREIRA, *et al.*, 2007).

### **3.6. Aplicações do balanço hídrico climatológico**

Segundo Lima & Santos (2009), o planejamento hídrico é fundamental para se dimensionar seja qual for a forma de manejo integrado dos recursos hídricos, de maneira que, a necessidade e disponibilidade de água no solo no decorrer do tempo são expressas por meio do balanço hídrico. Através deste, como unidade de gerenciamento, é possível classificar o clima de uma região (como já explanado anteriormente), assim como realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, a disponibilidade hídrica regional, a caracterização de secas e a determinação das melhores épocas de semeadura (PEREIRA *et al.*, 2007), além de dá suporte para gerenciamento integrado dos recursos hídricos.

Com relação à agricultura irrigada, é de fundamental importância ter conhecimento sobre qual as necessidades hídricas da cultura em função dos seus estádios de desenvolvimento, bem como saber o momento correto para se fazer a irrigação de modo a evitar excessos ou déficits de água, aumentando assim a eficiência na utilização da água disponível (BILIBIO *et al.*, 2010). Silva (2017) afirma que estudos sobre balanço hídrico são importantes na busca de soluções para melhor aplicação da água, com o intuito de se avaliar a atual condição e comportamento da disponibilidade deste recurso em uma região num dado intervalo de tempo.

Segundo consta no Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2017 (UN World Water Development Report – WWDR, 2017), a demanda por água sofrerá aumento significativo no decorrer das próximas décadas. Neste cenário, o setor agrícola aparece como o que mais consome água no mundo, responsável por 70% das extrações deste recurso natural (OLIVEIRA, 2018).

No Brasil, as atividades agrícolas estão no topo como os meios que mais consomem água, dentre os diferentes usos que se fazem deste recurso (AGÊNCIA NACIONAL DE

ÁGUAS, 2016). Testezlaf (2017) enfatiza que, a irrigação é o meio pelo qual pode-se garantir que a safra não será afetada por seca durante o completo período de desenvolvimento da cultura. O aumento na demanda de água em conjunto com fatores meteorológicos vem afetando a disponibilidade hídrica, provocando irregularidade na sua distribuição espaço-temporal (LOPES *et al.*, 2017). Isto torna muito necessário um melhor planejamento e organização com relação às ações de gestão dos recursos hídricos, objetivando-se aumentar a eficácia no uso da água (SILVA, 2019).

Fazendo o agrupamento das regiões do território brasileiro as quais compartilham basicamente das mesmas características de solo e clima, isto é, dividir em regiões fisiográficas, torna-se possível estabelecer quais os indicadores do potencial do meio físico para a região em estudo (MEDEIROS *et al.*, 2015). Juntando tais indicadores com a elaboração do BHC, torna-se possível elaborar um planejamento integrado para os recursos hídricos, objetivando-se implementar sistemas de irrigação dimensionado em função da maior demanda ou déficit de água da região (SOUZA *et al.*, 2014).

Desta forma, é de fundamental importância ter conhecimento de quanta água existe no solo e os processos que fazem parte disso (infiltração, redistribuição, drenagem, evapotranspiração e outros fatores), para que se faça um manejo eficiente dos recursos hídricos, em prol de vários processos ecohidrológicos (fotossíntese, respiração do ecossistema, fluxos de carbono, etc.) e da sustentabilidade da produção agrícola (QUEIROZ *et al.*, 2020; MEENA *et al.*, 2020).

É a partir das entradas de água por meio da chuva, orvalho e ascensão capilar e das saídas por evapotranspiração e drenagem profunda que se quantifica quanto de água existe no solo. A chuva representa em torno de 99% da entrada de água no solo, enquanto a evapotranspiração responde por aproximadamente 84% das saídas (PALARETTI *et al.*, 2011).

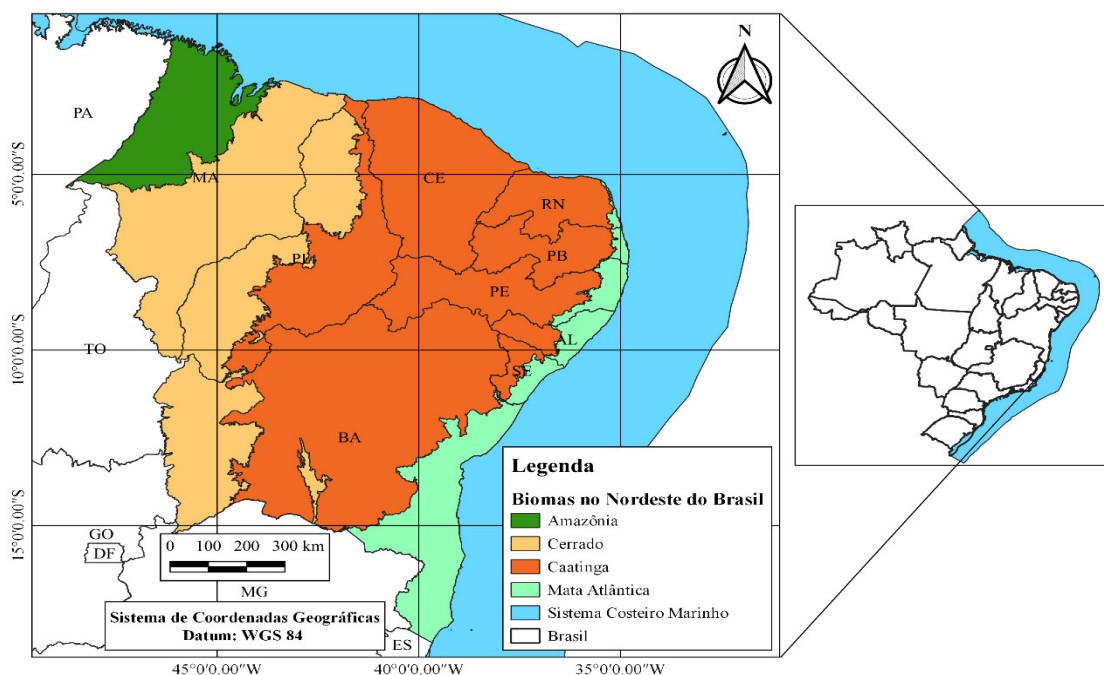
Monitorar as oscilações agroclimáticas é primordial para se obter sucesso na produção agrícola, visto que as anomalias climáticas interferem de forma direta na redução da produtividade agrícola no mundo (PASSOS *et al.*, 2017). Conforme mostrado por Leivas *et al.* (2006), para o planejamento agrícola, é tão importante conhecer o risco hídrico quanto os valores normais dos dados meteorológicos. Dentre outros estudos sobre o tema, foram encontradas flutuações na ocorrência de precipitação em função das mudanças climáticas, conforme mostraram Ávila *et al.* (2014) e Silveira *et al.* (2016).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização

O Estado do Maranhão está inserido na Região Nordeste do Brasil (Figura 1), englobando a sub-região Meio-Norte do País. Ao Norte, o Estado do Maranhão faz limite com o Oceano Atlântico (639,5 km), com 21.504 milhas quadradas de plataforma continental. Ao Sul e Sudoeste faz limite com o Estado do Tocantins (1.060 km), a Oeste possui divisa política com o Estado do Pará (798 km) e a Leste e Sudeste limita-se com o Estado do Piauí, numa extensão de 1.365 km, com suas cinco Mesorregiões Geográficas (Norte Maranhense, Oeste Maranhense, Centro Maranhense, Leste Maranhense e Sul Maranhense) subdivididas em 21 Microrregiões Geográficas, nas quais encontram-se inseridos seus 217 municípios (UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO, 2016). O Estado conta com a presença dos Biomas Amazonas e Cerrado, além de possuir o segundo maior litoral do país, com praias e manguezais, o que resulta numa gama imensa de diversidade de ecossistemas, situações sociais, econômicas, culturais e de processos de produção e desenvolvimento rural, marinho e agroindustrial.

**Figura 1 - Mapa de localização dos biomas presentes no Nordeste brasileiro.**



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

O Maranhão localiza-se entre as coordenadas geodésicas 0,9° S e 10,47° S e 48,89° W e 41,68° W de Greenwich, ocupando uma área de 329.651,496 km<sup>2</sup> (sendo a oitava maior unidade federativa do Brasil, 33.965.149,6 ha, representando 21,24% da região Nordeste e 3,87% do território brasileiro). Para o ano de 2021 a população estimada foi de 7.153.262 habitantes, com densidade demográfica estimada de 21,70 hab km<sup>-2</sup>. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022).

## 4.2. Obtenção dos dados

O estudo foi elaborado a partir dos dados obtidos das 12 estações meteorológicas convencionais (EMC's) da rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ainda, utilizou-se os dados de três EMC's do Estado do Piauí por estas estarem instaladas próximas da divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí (Tabela 1). Para a representatividade das diferentes regiões do Zoneamento Econômico Ecológico do Estado do Maranhão implementou-se a distribuição espacial das EMC's (Figura 2).

**Tabela 1.** Dados das estações meteorológicas convencionais avaliadas no estudo.

Cód. OMM <sup>(1)</sup>	Estações	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período dos dados
82970	1. Alto Parnaíba	9°06'30"S	45°56'55"W	285,1	1996-2021
82460	2. Bacabal	4°13'05"S	44°46'33"W	26,6	1996-2021
82768	3. Balsas	7°31'46"S	46°02'47"W	154,2	1991-2021
82571	4. Barra do Corda	5°30'23"S	45°14'14"W	263,5	1990-2021
82765	5. Carolina	7°20'14"S	47°27'35"W	182,9	1990-2021
82476	6. Caxias	4°52'02"S	43°21'24"W	96,7	1995-2021
82382	7. Chapadinha	3°44'33,6"S	43°21'07,5"W	104,0	1996-2021
82676	8. Colinas	6°01'59"S	44°13'60"W	175,6	1997-2021
82564	9. Imperatriz	5°32'11"S	47°28'43"W	126,3	1991-2021
82280	10. São Luiz	2°31'36"S	44°12'49"W	32,6	1990-2021
82198	11. Turiaçu	1°39'41"S	45°22'19"W	34,5	1998-2021
82276	12. Zé Doca	3°16'09,2"S	45°39'03,6"W	46,7	1990-2021
82678	13. Floriano*	6°45'41"S	43°00'12"W	126,6	2002-2021
82296	14. Luzilândia*	3°28'11"S	42°16'05"W	44,1	1995-2021
82578	15. Teresina*	5°02'05"S	42°48'05"W	75,7	2002-2021

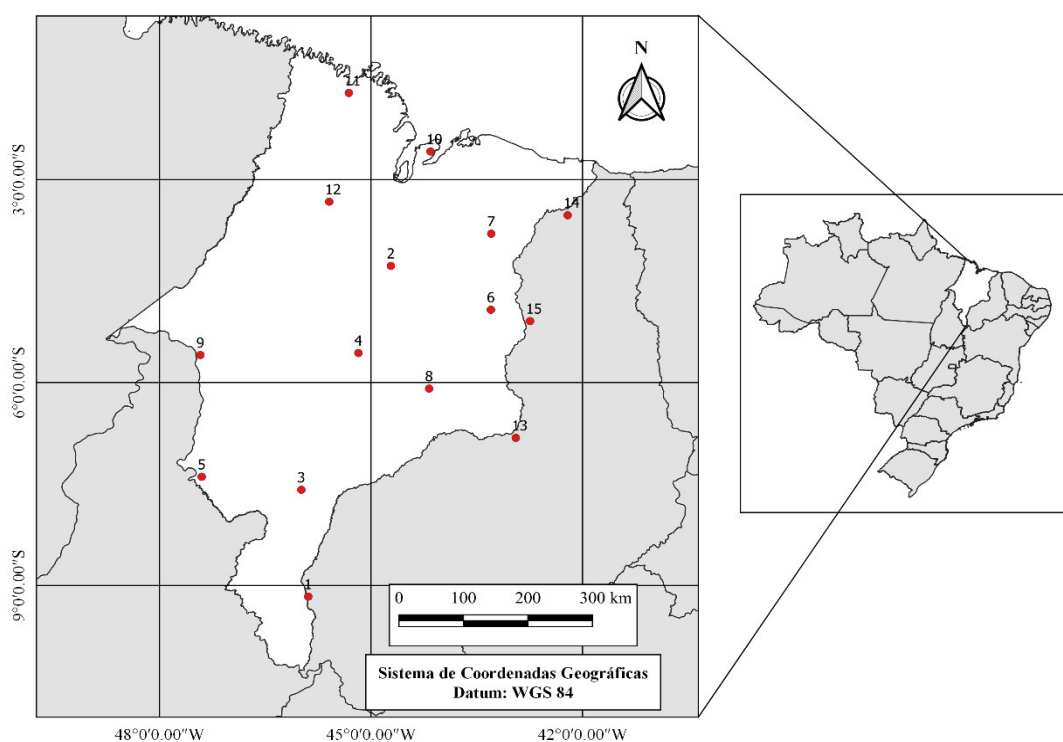
\*Municípios localizados na divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí. **Fonte:** INMET (2022). <sup>(1)</sup> Código da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

A aquisição dos dados foi feita considerando o maior período dos dados possível sem a ocorrência de um grande número de falhas para cada estação analisada no estudo. Utilizou-se a base de dados das estações meteorológicas automáticas (EMA's) da rede do INMET para o preenchimento de falhas encontradas nos dados das EMC's. Ainda, para o preenchimento de



falhas foram usados dados de precipitação pluvial obtidos a partir do banco de dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e também dados de temperatura do ar do banco de dados do Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária (SISDAGRO), o qual foi desenvolvido pelo INMET e que faz uso dos dados obtidos pelas estações meteorológicas do mesmo, assim como dados obtidos por modelos de previsão numérica do tempo, Modelo COSMO (do inglês, *Consortium for Small-scale Modeling*), com resolução horizontal de 7 km (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2022). Ressalta-se que os dados de precipitação do CEMADEN só foram utilizados pelo fato de os pluviômetros serem instalados em locais bem próximos das estações meteorológicas do INMET.

**Figura 2 - Mapa de localização e distribuição espacial das estações meteorológicas convencionais da rede do INMET, no Estado do Maranhão.**



**Fonte:** Elaborada pelo autor (2022).

Os dados das EMA's podem ser utilizados no preenchimento de falhas dos dados das EMC's uma vez que estas estações estão instaladas basicamente nas mesmas coordenadas geográficas e seus dados registrados são aproximadamente iguais. Foram feitas análises de correlação pelo software Excel do pacote Office da Microsoft e obteve-se coeficientes de

correlação superiores a 98,00% na maioria das vezes entre os dados das EMC's e EMA's. Estudos de comparações entre dados de EMC's e EMA's localizadas em um mesmo local foram realizados por Souza *et al.*, (2003), Pereira *et al.*, (2008), Oliveira *et al.*, (2010), Strassburger *et al.*, (2011) e Almeida & Hermenegídio (2013), sendo constatado por ambos os autores a não diferença entre os dados obtidos pelos dois modelos de estações meteorológicas.

Cabe destacar que os dados das EMA's também continham falhas, porém, em menor quantidade, e que na maioria das vezes não coincidiam com as datas das falhas nas EMC's.

### 4.3. Balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi contabilizado empregando-se o método proposto por Thornthwaite; Mather (1955), utilizando-se uma capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm, a qual, segundo Pereira *et al.* (2007), é conveniente aplicá-la tanto para culturas anuais quanto perenes, uma vez que o BHC é contabilizado em função da(s) cultura(s) cultivada na área e/ou região e não em função das características do solo como a textura, por exemplo. Considerou-se os dados médios mensais de precipitação e temperatura de cada ano ao logo dos intervalos de tempos estudados. Em seguida, determinou-se a ETP usando o método de Thornthwaite, de acordo com considerações feitas por Pereira *et al.*, (1997). Inicialmente, quantificou-se a evapotranspiração potencial padrão (ETPp, em mm mês<sup>-1</sup>) usando-se a fórmula empírica:

a) Se:  $0 < T_n < 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

**Equação 1** – Evapotranspiração potencial padrão

$$ETPp = 16 \left( 10 \frac{T_n}{I} \right)^a \quad (1)$$

b) Se:  $T_n \geq 26,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

**Equação 2** – Evapotranspiração potencial padrão

$$ETPp = -415,85 + 32,24T_n - 0,43T_n^2 \quad (2)$$

Onde: “Tn” = temperatura média no mês “n”, em °C; e “I” trata-se de um índice que expressa o nível de calor da região. Os meses do ano são indicados pelo subscrito “n”, isto é, n=1 é o mês de janeiro; n=2 é o mês de fevereiro, até n=12, mês de dezembro.

“I” tem seu valor dependente da temperatura ao longo do ano e integra o efeito térmico de cada mês, o qual é obtido através da fórmula:

**Equação 3** – Índice de calor regional

$$I = 12(0,2Ta)^{1,514} \quad (3)$$

Onde: Ta = temperatura média anual normal.

O expoente “a” também é um índice que expressa o nível de calor da região, pois este é função de “I”, determinado pela fórmula:

**Equação 4** – Índice de calor regional

$$a = 6,75x10^{-7}I^3 - 7,71x10^{-5}I^2 + 1,7912x10^{-2}I + 0,49239 \quad (4)$$

A ETPp expressa o total mensal de evapotranspiração que aconteceria dentro das condições térmicas de um mês padrão de 30 dias, com cada dia contendo 12 horas de fotoperíodo (N). Nas condições reais sabe-se que nem todos os meses tem 30 dias e nem todos os dias contam com 12 horas de fotoperíodo, com este último variando em função da latitude do local. Com isso, deve-se corrigir a ETPp com base no número de dias do período (NDP) em questão e no fotoperíodo (N). Para isto, utilizou-se valores tabelados de fator de correção (Cor) encontrados na literatura - conforme Pereira *et al.*, (2007) - para cada mês do ano com base na latitude do local em que se encontra instaladas as estações meteorológicas, e que podem ser obtidos pela fórmula:

**Equação 5** – Determinação do fator de correção

$$COR = \left(\frac{N}{12}\right) \left(\frac{NDP}{31}\right) \quad (5)$$

Prosseguindo-se, determinou-se a evapotranspiração real (ETR), o armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC), em escala mensal (Pereira et al., 2002), finalizando com a completa representação gráfica dos balanços hídricos climatológicos para cada estação meteorológica do estudo.

#### 4.4. Classificações climáticas

Utilizou-se dados de temperatura do ar e precipitação pluvial de séries temporais (conforme consta na Tabela 1) para efetuar as avaliações das classificações climáticas de Köppen (1931) e de Thornthwaite (1948). Para isto, foram determinadas a temperatura média anual, temperatura média do mês mais quente e mais frio, precipitação pluvial média anual, precipitação pluvial máxima de verão e de inverno, e também o mês que contou com a maior e menor precipitação. Com base nas definições de solstícios e equinócios foram caracterizadas as estações de verão e inverno.

A classificação climática pelo método de Köppen possui como base a qualificação de diferentes regiões, tipos e variedades climáticas, com a definição de: indicador de grupo – primeira letra, maiúscula (Tabela 2); indicador de tipo – segunda letra, minúscula (Tabela 3); e indicador de subtipo (Tabela 4).

**Tabela 2.** Caracterização do indicador de grupo climático.

<b>Código</b>	<b>Tipo de clima</b>	<b>Descrição</b>
A	Tropical	Climas megatérmicos: temperatura média do mês mais frio > 18 °C; estação invernal ausente; precipitação anual superior a evapotranspiração anual.
B	Árido	Climas secos (precipitação anual < 500 mm): evapotranspiração anual superior a precipitação anual; Inexistência de cursos d'água permanente.
C	Temperado	Climas mesotérmicos: temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18 °C (considerando a mínima média); temperatura média do mês mais quente > 10°C; estações de verão e inverno bem definidas.
D	Continental	Climas microtérmicos: temperatura média do ar do mês mais frio < -3 °C; temperatura média do mês mais quente > 10 °C; estações de verão e inverno bem definidas.
E	Glacial	Climas polares e de alta montanha: temperatura média no mês mais quente < 10°C; estação de verão pouco definida ou inexistente.

Fonte: Adaptado de Souza *et al.*, (2013).

**Tabela 3.** Caracterização do indicador de tipo climático. (continua)

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Grupo</b>
S	clima das estepes: precipitação anual média entre 380 e 760 mm.	B
W	clima desértico: precipitação anual média < 250 mm.	B
f	clima úmido: ocorrência de precipitação em todos os meses do ano; inexistência de estação seca definida; precipitação do mês mais seco > 60 mm.	A-C-D

		(conclusão)
w	chuvas de verão.	A-C-D
s	chuvas de inverno.	A-C-D
w'	chuvas de verão-outono.	A-C-D
s'	chuvas de inverno-outono.	A-C-D
m	clima de monção: precipitação anual média > 1500 mm e precipitação do mês mais seco < 60 mm.	A
T	temperatura média do ar no mês mais quente entre 0 e 10°C.	E
F	temperatura média do mês mais quente < 0°C.	E
M	precipitação abundante (inverno pouco rigoroso).	E

Fonte: Adaptado de Souza *et al.*, (2013).

**Tabela 4.** Caracterização do indicador de subtipo climático.

Código	Descrição	Grupo
a: verão quente	temperatura média do ar no mês mais quente > 22°C.	C-D
b: verão temperado	temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C; temperatura média do ar nos 4 meses mais quentes > 10°C.	C-D
c: verão curto e fresco	temperatura média do ar no mês mais quente < 22°C; temperatura médias do ar > 10°C durante menos de 4 meses; temperatura média do ar no mês mais frio > -38°C.	C-D
d: inverno muito frio	temperatura média do ar no mês mais frio <- 38°C.	D
h: seco e quente	temperatura média anual do ar > 18°C; deserto ou semideserto quente (temperatura anual média do ar ≥ a 18°C).	B
k: seco e frio	temperatura média anual do ar > 18°C; deserto ou semideserto quente (temperatura anual média do ar igual ou superior a 18°C).	B

Fonte: Adaptado de Souza *et al.*, (2013).

Pelo método de Thornthwaite (1948), para as avaliações da classificação climática, na sequência da obtenção do balanço hídrico climatológico conforme Thornthwaite; Mather (1955), deve-se avaliar os índices de aridez (Ia), hídrico (Ih) e índice de umidade (Iu), conforme as expressões:

**Equação 6** – Índice hídrico

$$Ih = \frac{EXC}{ETP} 100 \quad (6)$$

**Equação 7** – Índice de aridez

$$Ia = \frac{DEF}{ETP} 100 \quad (7)$$

**Equação 8 – Índice de umidade**

$$I_u = I_h - 0,6I_a \quad (8)$$

Onde: EXC = excesso hídrico, em mm; DEF = deficiência hídrica, em mm; ETP = evapotranspiração potencial, em mm. Ambos provindos da contabilização do BHC.

As bases para a classificação climática pelo método de Thornthwaite (1948), de acordo com Pereira et al., (2007), são: os índices de umidade (Tabela 5), índices de aridez (Tabela 6) e hídrico (Tabela 7), variações térmicas (Tabela 8) e as evapotranspirações potenciais de verão e anual (Tabela 9).

**Tabela 5.** Tipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice de umidade ( $I_u$ ).

<b>Tipo de clima</b>	<b>Índice de umidade (<math>I_u</math>)</b>
A – superúmido	$I_u \geq 100$
B <sub>4</sub> – úmido	$80 \leq I_u < 100$
B <sub>3</sub> – úmido	$60 \leq I_u$
B <sub>2</sub> – úmido	$40 \leq I_u < 60$
B <sub>1</sub> – úmido	$20 \leq I_u < 40$
C <sub>2</sub> – subúmido	$0 \leq I_u < 20$
C <sub>1</sub> – subúmido seco	$-33,3 \leq I_u < 0$
D – semiárido	$-66,7 \leq I_u < -33,3$
E – árido	$-100 \leq I_u < -66,7$

Fonte: Adaptado de Ayoade (2007).

**Tabela 6.** Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice de aridez ( $I_a$ ).

<b>Climas úmidos (A, B<sub>4</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>)</b>	<b>Índice de aridez (<math>I_a</math>)</b>
r – sem ou com pequena deficiência hídrica	$0 \leq I_a < 10$
s – deficiência hídrica moderada no verão	$10 \leq I_a < 20$
w – deficiência hídrica moderada no inverno	$10 \leq I_a < 20$
s <sub>2</sub> – grande deficiência hídrica no verão	$I_a \geq 20$
w <sub>2</sub> – grande deficiência hídrica no inverno	$I_a \geq 20$

Fonte: Adaptado de Ayoade (2007).

**Tabela 7.** Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice hídrico ( $I_h$ ).

<b>Climas secos (C<sub>1</sub>, D, E)</b>	<b>Índice hídrico (<math>I_h</math>)</b>
d – excedente hídrico pequeno ou nulo	$0 \leq I_h < 16,7$
s – excedente hídrico moderado no inverno	$16,7 \leq I_h < 33,3$
w – excedente hídrico moderado no verão	$16,7 \leq I_h < 33,3$
s <sub>2</sub> – grande excedente hídrico no inverno	$I_h \geq 33,3$
w <sub>2</sub> – grande excedente hídrico no verão	$I_h \geq 33,3$

Fonte: Adaptado de Ayoade (2007).

**Tabela 8.** Tipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base no índice térmico (ETP anual).

<b>Tipos</b>	<b>ETP anual (mm)</b>
A' – megatérmico	ETP ≥ 1140
B' <sub>4</sub> – mesotérmico	1140 > ETP ≥ 997
B' <sub>3</sub> – mesotérmico	997 > ETP ≥ 885
B' <sub>2</sub> – mesotérmico	885 > ETP ≥ 712
B' <sub>1</sub> – mesotérmico	712 > ETP ≥ 570
C' <sub>2</sub> – microtérmico	570 > ETP ≥ 427
C' <sub>1</sub> – microtérmico	427 > ETP ≥ 285
E' – gelo perpétuo	ETP < 997
D' – tundra	287 > ETP ≥ 142
E' – gelo perpétuo	ETP < 142

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, (2007).

**Tabela 9.** Subtipos climáticos, segundo Thornthwaite, com base na relação entre a ETP de verão e anual.

<b>Subtipos</b>	<b>(ETP de verão/ETP anual)*100</b>
a'	menor que 48,0%
b' <sub>4</sub>	entre 48,0% e menos que 51,9%
b' <sub>3</sub>	entre 51,3% e menos que 56,3%
b' <sub>2</sub>	entre 56,3% e menos que 61,6%
b' <sub>1</sub>	entre 61,6% e menos que 68,0%
c' <sub>2</sub>	entre 68,0% e menos que 76,3%
c' <sub>1</sub>	entre 76,3% e menos que 88,0%
d'	igual ou maior que 88,0%

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.*, (2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as 15 estações meteorológicas convencionais analisadas as temperaturas médias anuais variaram entre 26,3 e 28,4 °C para Alto Parnaíba e Floriano, respectivamente (Tabela 10). Com relação aos meses, constata-se a tendência de temperaturas mais altas entre agosto e dezembro (período seco para as estações) e menores entre fevereiro e abril (período chuvoso para as estações). Pelo fato de o vapor d'água possuir um alto potencial de atenuação da radiação na atmosfera, no período chuvoso tem-se uma diferença menor entre as temperaturas noturnas e diurnas, sendo a temperatura máxima mais amenizada em função das alterações nas radiações direta e difusa com a maior presença de nebulosidade (SANTOS *et al.*, 2013). Na Tabela 11 são apresentadas as médias de temperaturas para séries temporais curtas de 5 anos.

Para as estações localizadas mais ao norte do Maranhão, foram encontrados valores menores de amplitude térmica anual (1,4 a 2,0 °C, São Luís, Turiaçu e Zé Doca), enquanto para as outras estações foram observados valores mais elevados (2,3 a 4,7 °C). O grau de influência dos corpos hídricos sobre a temperatura de um local ou região aumenta à medida que a distância

entre ambos diminui em função das diferenças básicas que existem entre as características térmicas das superfícies continentais e hídricas, com a primeira sofrendo aquecimentos e resfriamentos de forma mais rápida, tendo as regiões costeiras uma menor amplitude térmica diária, mensal ou anual em relação às regiões mais interiores (AYOADE, 2007). A cobertura de nuvens e quantidade de vapor de água no ar são fatores que reduzem a insolação durante o dia e elevam a radiação descendente do céu durante a noite, afetando assim a amplitude térmica diurna; nos dias com vento, a variação da temperatura na superfície é menor do que em dias menos ventilados ou calmos (AYOADE, 2007). Pelo fato de as estações, em especial as instaladas em São Luís e Turiaçu, estarem mais próximas do Oceano Atlântico ao norte do Estado do Maranhão e se situarem no Bioma Amazônia, estes efeitos se exibem, atenuando a amplitude térmica.

**Tabela 10.** Temperaturas médias mensais e anuais (em °C) nas estações meteorológicas convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão.

Est.	Meses												Média anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1.	26,0	25,9	26,0	26,3	26,2	25,1	24,8	25,9	27,9	28,3	27,1	26,5	26,3
2.	27,2	26,9	27,0	27,2	27,7	27,7	27,7	28,4	29,2	29,3	29,1	28,4	28,0
3.	25,9	25,9	26,2	26,6	27,0	26,8	26,7	28,0	29,4	28,8	27,1	26,5	27,1
4.	26,3	25,9	25,9	26,2	26,2	26,0	26,2	27,5	28,8	28,9	28,2	27,3	27,0
5.	26,1	26,1	26,3	26,7	27,1	27,1	27,4	28,7	29,5	28,1	27,0	26,5	27,2
6.	27,3	26,8	26,6	26,8	27,0	26,9	27,2	28,3	29,8	30,4	29,9	29,0	28,0
7.	26,8	26,4	26,2	26,4	26,7	26,7	26,8	27,5	28,2	28,6	28,6	28,1	27,3
8.	26,2	26,1	26,1	26,3	26,3	25,9	26,0	27,1	28,7	29,1	28,0	27,1	26,9
9.	26,6	26,6	26,6	26,9	27,4	27,5	27,5	28,6	29,1	28,8	27,9	27,3	27,6
10.	26,8	26,5	26,3	26,4	26,7	26,6	26,4	26,7	27,2	27,5	27,7	27,7	26,9
11.	27,1	26,7	26,4	26,5	26,9	26,8	26,7	27,1	27,5	27,9	28,1	27,9	27,1
12.	26,8	26,4	26,4	26,7	27,1	27,0	26,9	27,5	28,0	28,3	28,4	27,9	27,3
13*.	27,2	26,8	26,7	27,1	27,5	27,6	28,1	29,4	30,9	31,4	29,8	28,3	28,4
14*.	27,6	27,1	26,8	26,8	27,3	27,3	27,6	28,4	29,1	29,7	29,7	29,1	28,0
15*.	27,2	26,6	26,4	26,5	26,9	26,7	26,9	27,8	29,2	30,1	29,7	28,7	27,7

Est.: Estações; 1.: Alto Parnaíba; 2.: Bacabal; 3.: Balsas; 4.: Barra do Corda; 5.: Carolina; 6.: Caxias; 7.: Chapadinha; 8.: Colinas; 9.: Imperatriz; 10.: São Luís; 11.: Turiaçu; 12.: Zé Doca; 13.: Floriano; 14.: Luzilândia; 15.: Teresina. \*Municípios localizados na divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

Ao longo do ano, as maiores médias de temperaturas constatadas foram para os meses de agosto a dezembro, sendo estes valores 27,8; 28,8; 29,0; 28,4; 27,8 °C, respectivamente. Em associação a isto, os maiores valores de evapotranspiração constatados foram para os meses citados. Há especialistas que divergem a respeito do comportamento da evapotranspiração em função da diminuição da umidade do solo (AYOADE, 2007): alguns defendem que a



evapotranspiração se dá em taxa potencial até que ocorra toda a evaporação ou transpiração da umidade do solo, outros defendem que a variável em questão diminui sua intensidade à medida que o déficit hídrico do solo se eleva. O que se observou neste estudo está de acordo com a primeira situação (Tabela 12).

Constatou-se uma considerável variação nas tendências sazonais da temperatura do ar, acusando diferenças (entre máximos e mínimos considerando um período de cinco anos) de 2,01; 1,18; 0,67; 0,77; 0,76; 1,05; 1,28; 0,64; 0,80; 0,51; 0,55; 0,88; 0,84; 0,73; 0,52 °C, para as estações avaliadas, respectivamente (Tabela 11). Para a maioria das estações avaliadas, exceto a de Floriano-PI, observou-se tendências de aumento da temperatura média anual ao longo do período avaliado. Souza *et al.*, (2013) ressaltam que as metodologias utilizadas para a definição das classificações climáticas e balanço hídrico climatológico podem ser adotadas como critério confiáveis para definir as características climáticas do local, as quais usam valores médios mensais normais, ou ainda podem mostrar um indicativo das tendências climáticas da região caso aplicadas a séries temporais menores.

**Tabela 11.** Temperaturas médias de séries temporais de cinco anos (em °C) nas estações meteorológicas convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão.

Estações	Séries temporais curtas (5 anos)					
	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2019
Barra do Corda	26,1	26,2	26,7	27,2	27,3	28,2
Carolina	26,5	26,9	27,2	27,4	27,4	27,7
São Luís	26,5	26,8	26,8	26,9	27,2	26,9
Zé Doca	26,9	27,3	27,1	27,7	27,6	27,6
Caxias	-	27,6	28,0	28,1	28,3	28,0
Luzilândia*	-	27,8	28,6	28,1	27,5	28,1
	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
Balsas	26,4	26,7	27,0	27,1	27,7	27,6
Imperatriz	27,2	27,2	27,8	27,8	27,7	27,7
Alto Parnaíba	-	26,0	26,3	26,2	26,6	26,8
Bacabal	-	27,8	28,0	28,1	28,3	28,1
Chapadinha	-	27,0	27,1	27,2	27,5	27,5
	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011	2012-2016	2017-2021
Colinas	-	26,5	26,7	26,8	27,2	27,3
Floriano*	-	-	28,3	28,2	29,0	28,2
Teresina*	-	-	27,6	27,3	28,0	27,9
	1988-1992	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012	2013-2017
Turiaçu	-	-	27,0	27,2	27,0	27,5

\*Municípios localizados na divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

Vários trabalhos mostram as evidências relativas aos efeitos das mudanças climáticas regionais, especialmente nas variações de temperatura do ar (DANTAS, *et al.*, 2007; BLAIN *et al.*, 2009; BLAIN, 2010). No entanto, Souza *et al.*, (2013) ressaltam que, sendo as séries temporais menores do que a normal climatológica (30 anos), não é conveniente atribuir possíveis causas como El Niño/Oscilação Sul, aquecimento global, alteração climática cíclica, atividades antrópicas, dentre outras, para as tendências constatadas. Streck *et al.*, (2011) reiteram que a identificação desses ciclos, no tocante à agricultura, é muito importante por permitir elaborar estratégias de adaptação e mitigação. Referente às precipitações totais anuais, estas variaram entre 1040,7 a 2204,5 mm (Tabela 12). Em média, 14,57; 16,37; 19,93; 16,65; 9,19; 3,48; 2,06; 0,74; 1,00; 2,87; 5,11 e 8,03% das precipitações acontecem de janeiro a dezembro, respectivamente.

Para as estações que estão localizadas no extremo Norte do Estado (São Luís e Turiaçu) ocorrem maiores concentrações (entre 53,67 e 56,07%) das precipitações nos meses de março, abril e maio, concordando com o que afirmam Mendonça & Danni-Oliveira (2007) e Reboita *et al.*, (2016). Nas estações situadas nas regiões Meio Norte e Leste do Estado ocorrem maiores concentrações (entre 49,03 e 53,81%) das precipitações nos meses de janeiro, fevereiro e março. Para as estações localizadas nas regiões Central, Sudeste, Sul e Sudoeste do Estado, as precipitações se concentram (entre 55,83 e 60,24%) mais nos meses de fevereiro, março e abril (Tabela 12). É essencial determinar o trimestre mais chuvoso, isso porque a efetividade da precipitação depende da sua ocorrência quando a determinação da aptidão agrícola das terras é o objetivo considerado (BRASIL, 1969).

Em relação à evapotranspiração potencial anual, os valores variaram entre 1586,8 e 1930,0 mm (Tabela 12). Na grande maioria das estações avaliadas a evapotranspiração potencial anual superou a precipitação acumulada no ano, especialmente nas estações de Floriano e Luzilândia no Estado do Piauí. Tais estações localizam-se basicamente na região de transição entre os Biomas Cerrado e Caatinga, sendo o segundo, área em que se situa o Sertão Nordeste (REBOITA *et al.*, 2016) de Clima Tropical Semiárido. Neste tipo de clima, o aquecimento adiabático do ar e a baixa umidade relativa são resultados da subsidência das massas de ar, as taxas de evaporação são superiores à precipitação, o tornando inviável para dar suporte ao crescimento de vegetação densa (AYOADE, 2007). Também, na maioria da Região Nordeste do Brasil, por causa da alta demanda evaporativa da atmosfera em função de temperaturas mais elevadas, esta região conta com valores de evapotranspiração superiores à precipitação. Porém, este comportamento se reverte nas regiões mais litorâneas e a noroeste do

Nordeste em função da diminuição da temperatura do ar para estas áreas por efeito do Oceano Atlântico e Amazônia Oriental (SANTOS, 2016).

**Tabela 12.** Precipitação média mensal e anual, nas estações meteorológicas convencionais da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no Estado do Maranhão.

Est.	Meses												Total anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
<b>Precipitação (mm)</b>													
1.	229,8	203,8	243,0	125,9	41,8	2,7	0,5	2,3	17,9	73,1	149,4	172,0	1262,1
2.	254,1	311,9	379,9	356,6	190,0	50,6	20,2	10,3	13,4	28,8	63,9	133,1	1812,8
3.	221,8	187,9	180,4	121,8	49,3	4,6	2,5	1,3	18,6	86,9	154,7	172,2	1201,9
4.	169,4	192,6	223,0	157,9	71,2	14,1	10,4	6,7	13,9	35,7	80,6	111,7	1087,3
5.	278,9	281,2	282,8	199,1	88,5	12,3	7,9	8,4	37,3	115,2	177,1	230,4	1719,0
6.	201,5	249,6	327,6	284,7	149,9	30,4	18,0	10,2	12,4	28,3	40,7	100,2	1453,5
7.	231,5	274,1	377,5	338,5	200,2	68,7	26,8	5,4	3,0	17,1	43,4	86,2	1672,5
8.	193,4	198,5	240,1	166,0	81,8	15,0	7,1	7,9	24,1	62,4	105,2	134,6	1236,3
9.	250,3	243,1	288,5	194,7	90,7	14,4	6,5	6,2	27,7	65,4	129,7	181,8	1499,1
10.	228,7	315,8	452,4	419,8	309,1	177,0	115,2	24,6	4,3	3,7	10,7	57,3	2118,6
11.	220,2	303,7	449,4	424,3	309,4	218,4	155,8	49,6	11,6	10,8	13,0	38,4	2204,5
12.	252,1	323,5	348,6	336,8	198,5	85,4	45,4	17,3	18,2	24,6	53,5	103,1	1807,0
13.*	199,2	181,0	179,5	135,7	50,3	7,6	3,8	0,5	9,5	60,3	76,2	137,1	1040,7
14.*	188,7	191,9	270,9	259,5	135,8	68,8	31,8	11,5	6,0	14,1	21,8	60,5	1261,3
15.*	186,4	255,5	279,1	256,4	117,9	20,0	15,2	5,2	9,6	25,0	40,5	102,2	1313,2
<b>Evapotranspiração potencial (mm)</b>													
1.	134,8	119,0	131,5	129,1	129,0	104,9	105,0	124,6	148,5	161,2	149,2	149,9	1586,8
2.	149,0	132,9	146,8	142,6	150,3	145,9	149,9	157,5	158,7	167,9	162,9	162,3	1826,6
3.	127,3	114,8	130,3	137,9	144,2	137,8	141,5	154,7	160,3	163,7	146,2	144,3	1702,9
4.	135,5	115,6	126,3	126,3	129,8	121,3	129,1	149,9	156,3	164,9	155,8	152,8	1663,6
5.	130,9	118,0	132,9	138,8	145,2	140,2	147,6	160,0	161,0	158,3	145,6	144,3	1722,8
6.	152,6	132,5	143,4	139,6	144,3	139,0	145,5	156,4	163,1	175,2	168,8	166,7	1827,0
7.	147,8	122,5	131,1	128,6	141,6	136,9	142,3	150,3	151,1	161,9	158,8	160,0	1733,0
8.	134,7	118,3	129,0	128,2	131,2	119,4	125,4	146,2	155,0	166,2	154,2	150,8	1658,7
9.	145,6	130,5	142,7	140,3	148,0	144,0	148,2	159,2	158,5	164,1	153,3	152,1	1786,7
10.	148,1	129,8	133,4	130,2	141,0	135,7	132,5	142,8	142,5	152,9	151,5	155,7	1695,9
11.	151,0	131,2	134,8	136,5	142,6	137,7	141,4	146,5	145,8	156,1	154,8	157,9	1736,4
12.	147,7	123,1	135,0	138,0	144,9	140,1	143,4	150,0	149,4	159,9	157,3	158,3	1747,0
13.*	151,6	132,6	144,4	142,2	148,3	144,7	153,9	165,1	170,0	181,3	168,2	161,2	1863,4
14.*	163,4	141,8	152,2	146,2	154,7	150,0	157,1	165,8	166,6	179,4	176,2	176,7	1930,0
15.*	152,0	130,4	133,3	136,6	142,8	137,3	142,9	152,3	159,2	172,9	167,3	164,9	1792,0

Est.: Estações; 1.: Alto Parnaíba; 2.: Bacabal; 3.: Balsas; 4.: Barra do Corda; 5.: Carolina; 6.: Caxias; 7.: Chapadinha; 8.: Colinas; 9.: Imperatriz; 10.: São Luís; 11.: Turiuaçu; 12.: Zé Doca; 13.: Floriano; 14.: Luzilândia; 15.: Teresina. \*Municípios localizados na divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

As variações pluviométricas totais mensais e anuais das chuvas se dão em função do comportamento da circulação atmosférica regional no decorrer do ano, aliada a fatores geográficos locais ou regionais (PEREIRA *et al.*, 2002). De acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007), os sistemas atmosféricos que atuam no Nordeste brasileiro e conseqüentemente no Estado do Maranhão são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), massa de ar equatorial continental (MEC), massa de ar equatorial do atlântico norte (MEAN), massa de ar equatorial do atlântico sul (MEAS), massa de ar tropical atlântica (MTA) e massa de ar polar atlântica (MPA). Outros elementos causadores ou não de chuvas na porção Norte do Nordeste do Brasil são: Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAs) (MOLION; BERNARDO, 2000); as Linhas de Instabilidade (LI) (FERREIRA; MELLO, 2005); fenômenos oceânicos como El Niño (aquecimento das águas do Oceano Pacífico próximo à costa Norte do Peru) e La Niña (resfriamento anômalo das águas do Pacífico) (DINIZ *et al.*, 2008); e as anomalias positivas e negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas bacias dos oceanos Atlântico e Pacífico (SANTOS; AQUINO, 2017).

O Norte do Maranhão situa-se entre 1° e 4° de latitude sul, próximo ao Equador terrestre e banhado pelo Oceano Atlântico, com médias anuais de precipitação que podem variar de 1200 a 2800 mm (MARANHÃO, 2002). Estes valores diminuem para as regiões Leste, Oeste e Sul do Estado, com médias anuais de precipitação pluviométricas que podem variar de 800 a 2000 mm, tendo como resultado uma irregularidade espaço-temporal na distribuição das chuvas durante todo o ano, com máximos no verão/outono e mínimos no inverno/primavera, apresentando concentrações de 63% das precipitações no quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril, caracterizando o período mais chuvoso, e 10% concentradas no quadrimestre junho-julho-agosto-setembro, representando o período mais seco (MARANHÃO, 2002).

A altitude é outro fator climático que causa interferência na distribuição das chuvas no Estado do Maranhão, com a região Sul apresentando comportamento bastante irregular (no tempo e espaço) e com os menores totais médios anuais (inferior à 1500 mm) em relação às outras regiões, sendo a causa dessa irregularidade associada às características topográficas, com altitudes de até 800 m em relação ao nível do mar (o que possibilita a ocorrência de chuvas orográficas) e também à distância da região em relação ao Litoral (MARANHÃO, 2002).

São apresentadas na Tabela 13 as variáveis do balanço hídrico climatológico para a estação meteorológica convencional de Chapadinha, podendo ser considerada como representativa para as condições climáticas da região de Afonso Cunha, Codó, Coelho Neto, Mata Roma, São Benedito do Rio Preto, Timbiras, Urbano Santos e Vargem Grande. Para tal

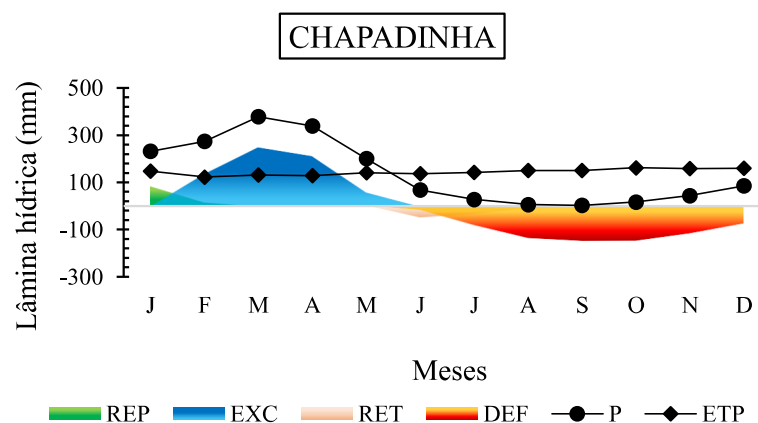
estação, observa-se deficiências hídricas anuais acumuladas de 710,8 mm, sendo distribuídas entre os meses de junho a dezembro; observa-se também excedente hídrico anual de 650,3 mm distribuídos entre fevereiro e maio. Nas Figuras 3 a 7 constam as representações gráficas completas do BHC para as 15 estações meteorológicas.

**Tabela 13.** Extrato das variáveis do balanço hídrico climatológico (em mm) segundo Thornthwaite; Mather (1955), para a estação meteorológica de Chapadinha, no período de 1996-2021.

Mês	P	ETP	P-ETP	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	231,6	147,8	83,7	83,7	147,8	0	0
Fev	274,1	122,5	151,7	16,3	122,5	0	135,4
Mar	377,5	131,1	246,4	0	131,1	0	246,4
Abr	338,51	128,6	209,9	0	128,6	0	209,9
Mai	200,2	141,6	58,6	0	141,6	0	58,6
Jun	68,7	136,9	-68,2	-49,3	118,1	18,9	0
Jul	26,8	142,3	-115,5	-34,8	61,6	80,7	0
Ago	5,4	150,3	-145,0	-12,2	17,5	132,8	0
Set	3,0	151,1	-148,1	-2,9	5,9	145,3	0
Out	17,1	161,9	-144,8	-0,7	17,8	144,2	0
Nov	43,4	158,8	-115,4	-0,1	43,6	115,3	0
Dez	86,2	160,0	-73,8	0	86,2	73,8	0
Anual	1672,5	1733,0	-60,5	0	1022,2	710,8	650,3

P: precipitação; ETP: evapotranspiração potencial; ALT: alteração do armazenamento de água no solo (+ indica recarga; - indica retirada); ETR: evapotranspiração real; DEF: deficiência hídrica; EXC: excesso hídrico. Considerando a CAD = 100 mm. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

**Figura 3 - Representação gráfica completa do BHC para a estação meteorológica convencional de “Chapadinha”, na região Leste do Estado do Maranhão.**



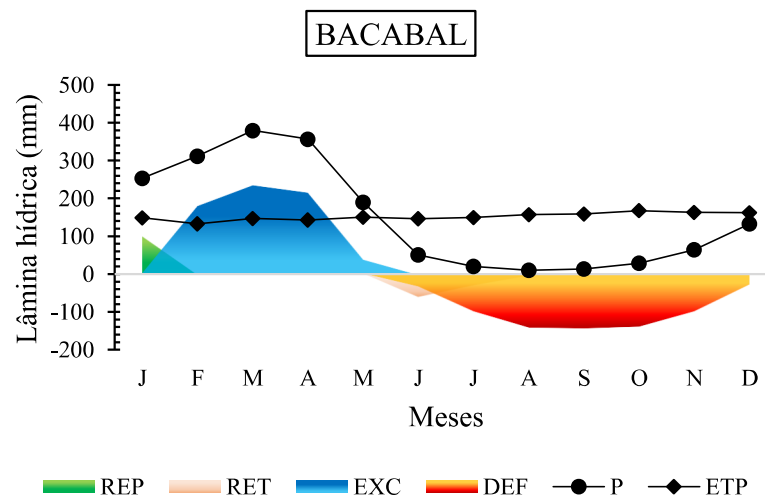
**Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

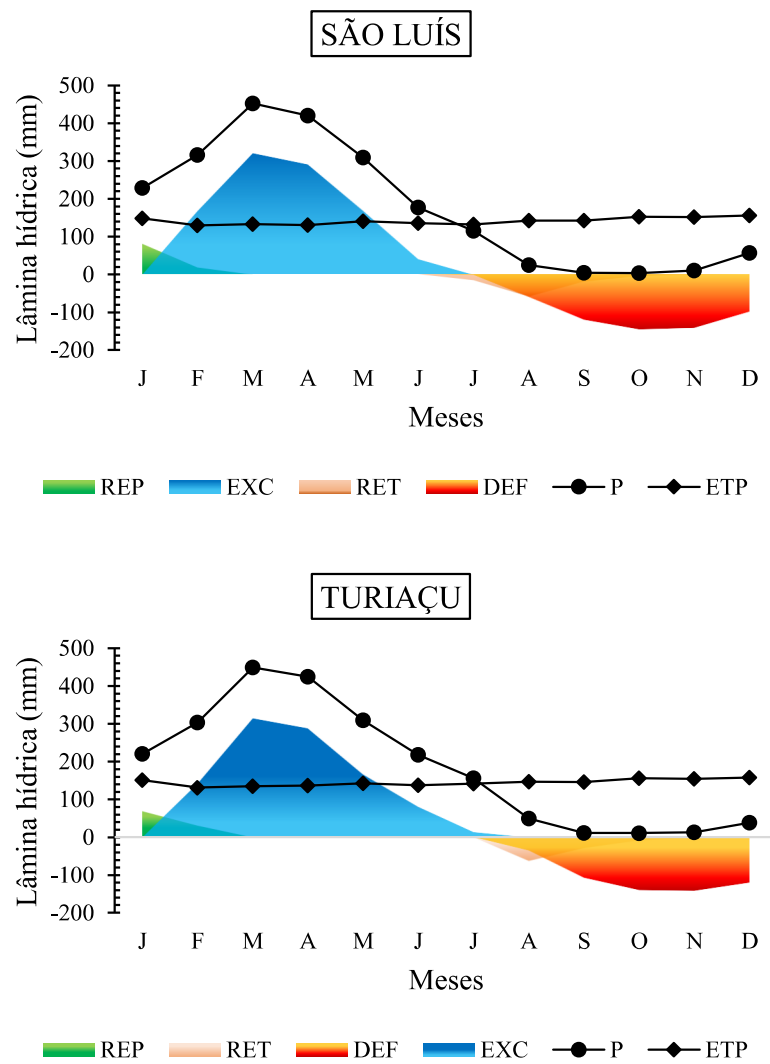
Ao longo de todo o ano, a dinâmica das chuvas na região norte do Nordeste brasileiro é regida pela ZCIT (MOLION e BERNARDO, 2002; REBOITA, 2016, apud REBOITA *et al.*,

2012), acontecendo o período chuvoso quando esta se encontra na sua posição mais austral ( $\sim 3^\circ$  S) (REBOITA *et al.*, 2016), originando uma faixa de nuvens de chuvas entre fevereiro a maio sobre essa região (MARANHÃO, 2002; REBOITA *et al.*, 2016). O período seco acontece quando a ZCIT se dirige para o norte do equador geográfico, causando movimentos subsidentes no Nordeste (REBOITA *et al.*, 2016). Ainda, tanto a convergência da brisa terrestre quanto a da brisa marítima com os ventos alísios contribuem para ocorrência de precipitações no litoral do norte do Nordeste (KOUSKY, 1980; TEIXEIRA, 2008). Reboita *et al.*, (2016) ressaltam também que a atividade convectiva local é muito importante para o acontecimento de precipitação, tendo o poder de influenciar o desenvolvimento de complexos convectivos de mesoescalas, podendo estes causar chuva intensa.

Com os balanços hídrico climatológicos distribuídos nas regiões Meio Norte e Norte (Figura 4), Leste (Figura 5), Central e Sudeste (Figura 6) e Sul e Sudoeste (Figura 7), objetivou-se analisar as diferenças entre períodos de excedente e deficiência hídrica relativas às quinze estações meteorológicas estudadas. Por meio do BHC proposto por Thornthwaite; Mather (1955), é possível fazer o acompanhamento do armazenamento de água no solo em tempo real, deixando assim de ser um BHC cíclico e representando então de maneira sequencial os valores hídricos de entrada e saída do sistema solo-planta-atmosfera (PEREIRA *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2013). Santos *et al.*, (2013) enfatizam que tais balanços hídricos sequenciais servem como base para tomada de decisão a respeito do período de plantio, mecanização, colheita, pulverização, planejamento da irrigação e demais aplicações para fins agrometeorológicos.

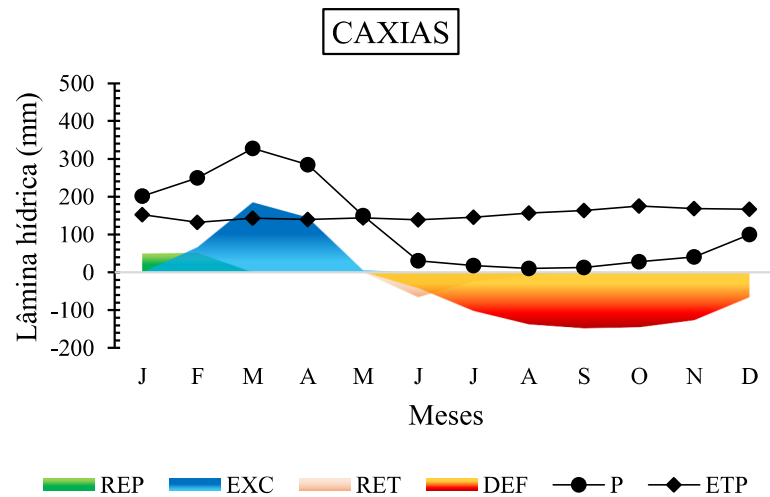
**Figura 4 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Bacabal”, “São Luís”, “Turiacu” e “Zé Doca”, nas regiões Meio Norte e Norte do Estado do Maranhão.**

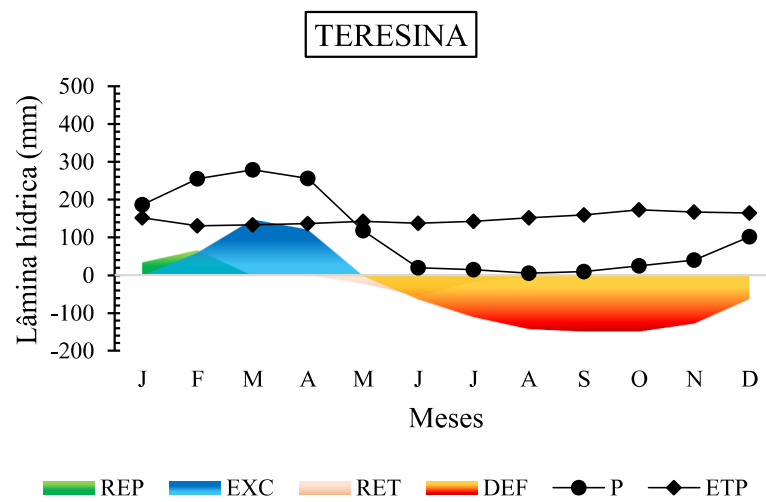
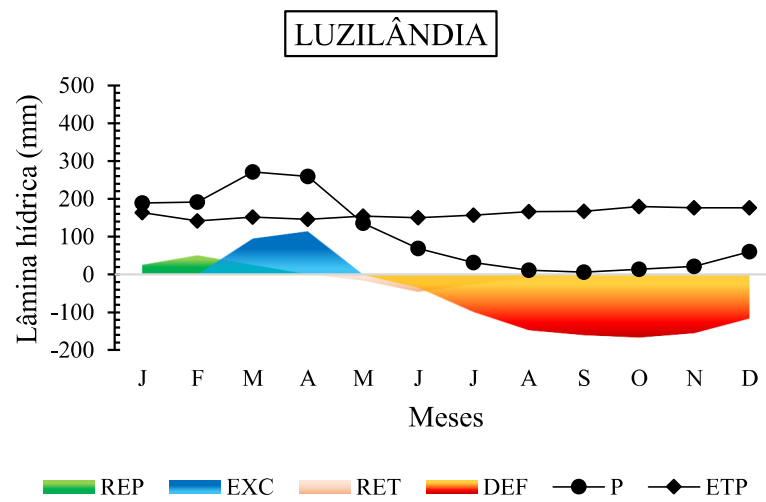




Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

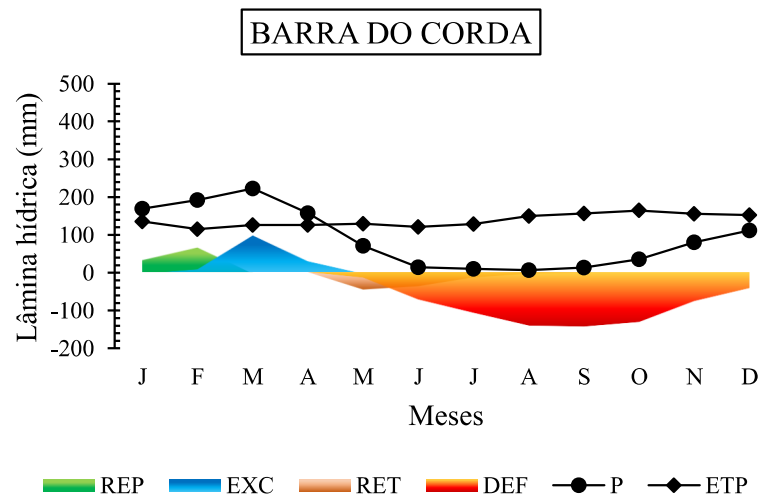
Figura 5 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Caxias”, “Luzilândia” e “Teresina” na região Leste do Estado do Maranhão.



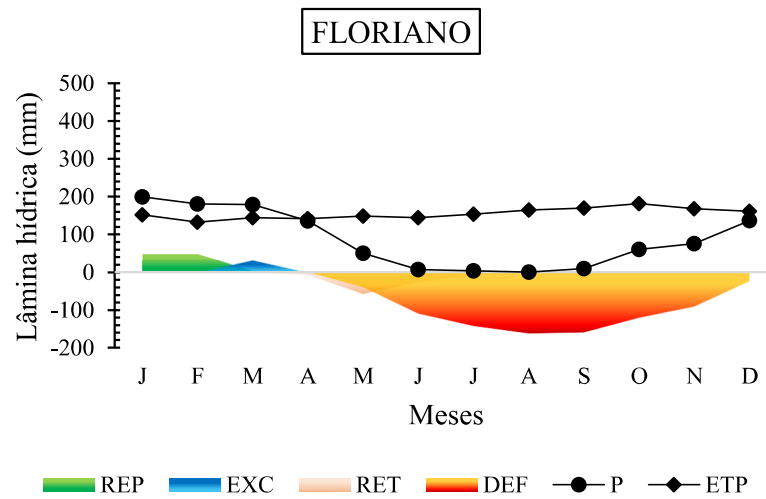
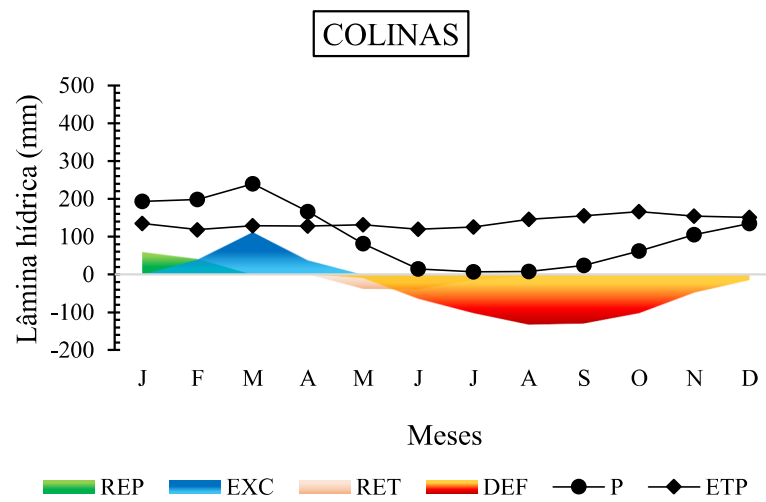


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 6 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Barra do Corda”, “Colinas” e “Florianópolis” nas regiões Central e Sudeste do Estado do Maranhão.

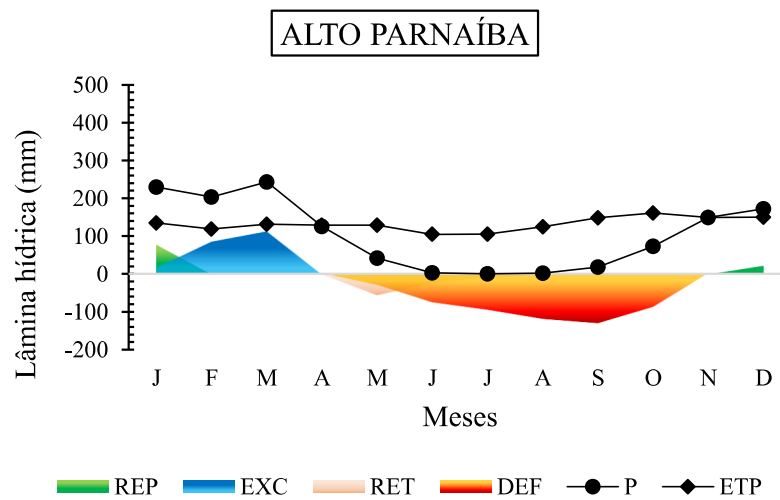


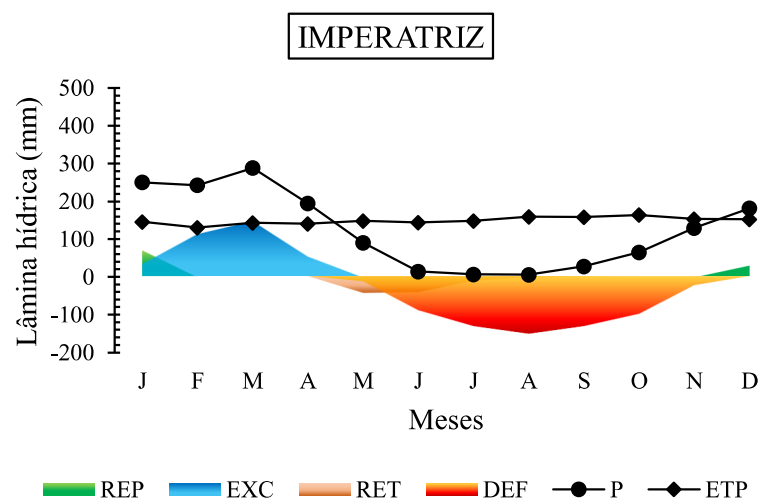
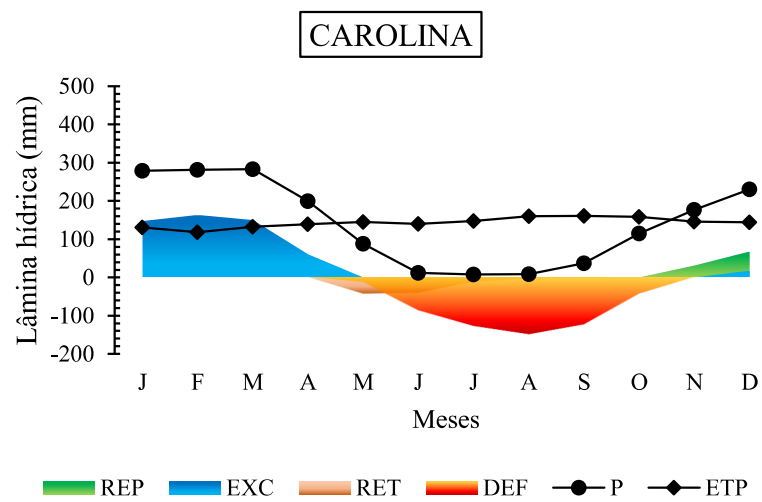
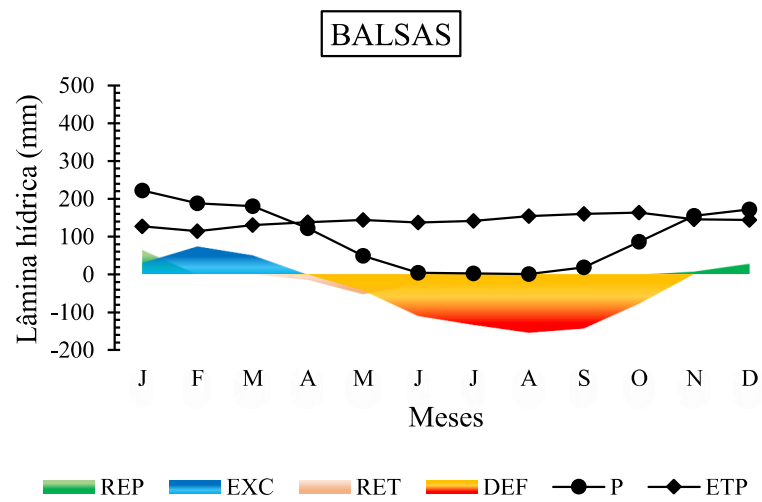




Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

**Figura 7 - Representação gráfica completa do BHC para as estações meteorológicas convencionais de “Alto Parnaíba”, “Balsas”, “Carolina” e “Imperatriz” nas regiões Sul e Sudoeste do Estado do Maranhão.**





Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A fitogeografia existente no Estado do Maranhão é bem diversificada, sendo refletida na grande variação quanto aos aspectos físicos como relevo, rochas, solos e características

climáticas, com sua vegetação, em parte, bastante modificada em suas características primárias ou naturais, com cobertura representada por seis Regiões Fitoecológicas (IBGE, 2011): na porção oeste do Estado situa-se a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Tropical Pluvial); ao norte, situa-se a Floresta Ombrófila Aberta; em partes das regiões Central e Leste do Estado concentra-se a Floresta Estacional Semidecidual; a Floresta Estacional Decidual, Savana (Cerrado) e Savana-Estépica se distribuem nas porções leste e sul do Estado. Estes muitos ambientes, em parceria com políticas públicas e variáveis socioeconômicas, ditaram os processos de ocupação do Estado ao longo da história, proporcionando várias dinâmicas e características para uso e ocupação do solo, das quais as consequências foram as alterações das repostas do ambiente em relação às variáveis climáticas.

Pela classificação climática de Köppen (1931), foram determinados três tipos climáticos, sem do eles Aw, Aw' e Am. Os tipos climáticos Aw e Aw' são denominados como Clima Tropical de Savana, enquanto o tipo climático Am é denominado como clima tropical de monções. Vale destacar aqui as intrínsecas a cada um dos tipos climáticos: ambos são climas megatérmicos, com temperatura do mês mais frio superior a 18 °C, tendo o tipo Aw concentrações de chuvas no verão e o Aw' com chuvas distribuídas no verão-outono; o tipo climático Am possui total anual de chuvas superior a 1500 mm e o mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm, com período de chuvas mais longos durante o ano, mas que ainda conta com uma estação seca (AYOADE, 2007). Estes resultados estão, em parte, de acordo com os encontrados por Alvares *et al.*, (2013), com o tipo climático Aw sendo predominante no Maranhão, com boa parte da região Noroeste do Estado contando com clima do tipo Am e a região mais litorânea a Norte-Nordeste com clima do tipo As.

Pela classificação climática de Thornthwaite (1948), foram determinados quatro diferentes tipos climáticos, sendo estes  $C_1dA'a'$ ,  $C_2w_2A'a'$ ,  $C_1wA'a'$  e  $B_1w_2A'a'$ . Para todas as estações as características de climas megatérmicos são reinantes, com menos de 48,0% da evapotranspiração potencial concentradas no verão em comparação com os totais anuais. O tipo de clima subúmido seco ( $C_1$ ) com pequeno ou nenhum excedente hídrico (d) foram os encontrados em maior proporção, seguido pelos tipos de climas subúmido ( $C_2$ ) e úmidos ( $B_1$ ) com déficit hídrico de inverno moderado (w) e grande ( $w_2$ ), respectivamente.

**Tabela 14.** Dados e classificação climática de Thornthwaite para as estações meteorológicas convencionais avaliadas no estudo.

Estações	Ih	Ia	Iu	Classe climática
1. Alto Parnaíba	13,48	33,94	-6,89	C <sub>1</sub> dA'a'
2. Bacabal	37,73	37,48	14,24	C <sub>2</sub> w <sub>2</sub> A'a'
3. Balsas	9,02	38,47	-14,06	C <sub>1</sub> dA'a'
4. Barra do Corda	8,37	43,02	-17,44	C <sub>1</sub> dA'a'
5. Carolina	31,29	31,52	12,39	C <sub>2</sub> w <sub>2</sub> A'a'
6. Caxias	21,95	42,40	-3,48	C <sub>1</sub> wA'a'
7. Chapadinha	37,52	41,02	12,91	C <sub>2</sub> w <sub>2</sub> A'a'
8. Colinas	11,32	36,79	-10,75	C <sub>1</sub> dA'a'
9. Imperatriz	19,43	35,53	-1,89	C <sub>1</sub> wA'a'
10. São Luís	58,07	33,15	38,18	B <sub>1</sub> w <sub>2</sub> A'a'
11. Turiaçu	57,94	30,98	39,35	B <sub>1</sub> w <sub>2</sub> A'a'
12. Zé Doca	38,40	34,97	17,42	C <sub>2</sub> w <sub>2</sub> A'a'
13. Floriano*	1,67	45,82	-25,83	C <sub>1</sub> dA'a'
14. Luzilândia*	10,75	45,39	-16,49	C <sub>1</sub> dA'a'
15. Teresina*	18,15	44,87	-8,77	C <sub>1</sub> wA'a'

\*Municípios localizados na divisa política entre os Estados do Maranhão e Piauí. **Fonte:** Elaborado pelo autor (2022).

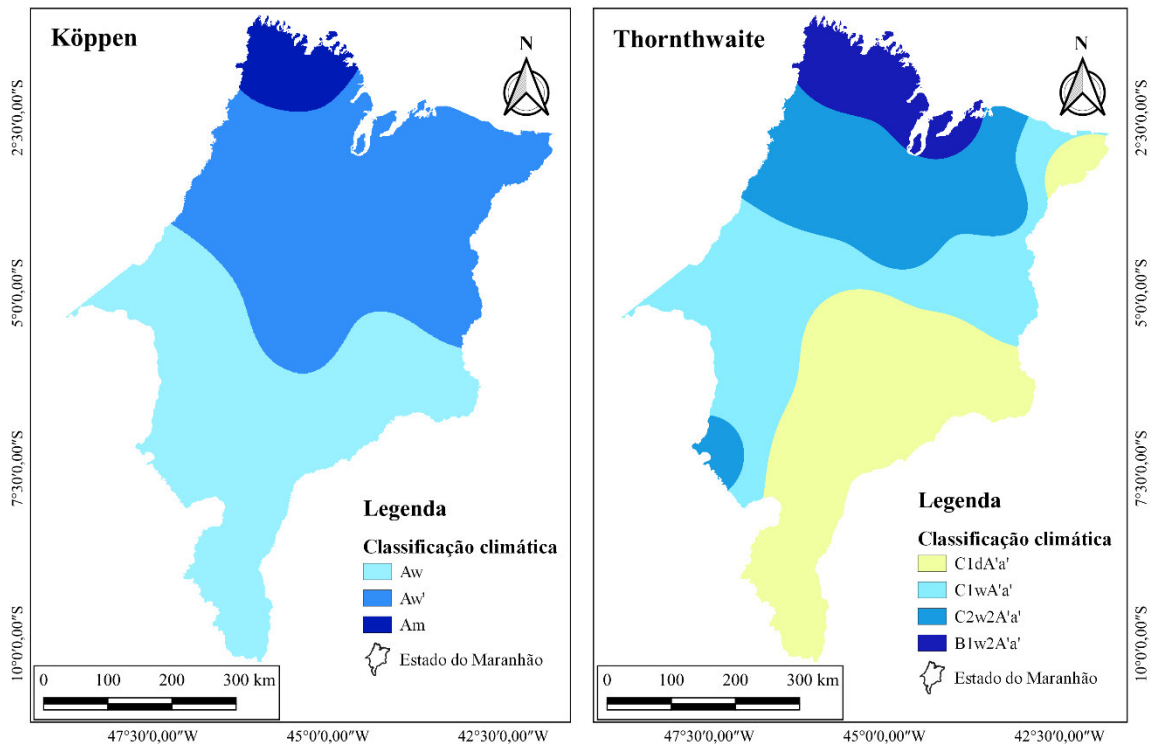
No ano de 2002, as equipes do Núcleo Geoambiental (NUGEO) e Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) (MARANHÃO, 2002), apresentaram a classificação climática proposta por Thornthwaite (1948) para vários municípios do Maranhão, dentre os quais estavam os municípios de Bacabal, Balsas, Barra do Corda, Carolina, Caxias, Chapadinha, Imperatriz, São Luís e Turiaçu, também presentes neste estudo. Dos municípios citados, todos apresentaram tipos climáticos diferentes no presente estudo. Porém, do total de estações que apresentaram mudanças no tipo climático, somente as localizadas nos municípios de Balsas, Barra do Corda, Carolina, Imperatriz e São Luís tiveram sua classificação climática determinadas por um período de dados superior a 30 anos (normal climatológica).

A variabilidade no clima num intervalo de tempo inferior à 30 ou 35 anos é muito rápida para ser considerada como mudança climática. Processos físicos como mudanças na quantidade de radiação solar, na composição atmosférica (H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, aerossóis etc.), nos aspectos continentais (orografia, vegetação, albedo, etc.) e na forma das bacias oceânicas e salinidade, dentre outros, são os responsáveis tanto pelo clima como por suas mudanças ao longo do tempo (AYOADE, 2007).

Ainda, Passos *et al.*, (2016), Passos *et al.*, (2017) e Passos *et al.*, (2018) realizaram a classificação climática e balanço hídrico climatológico pelos métodos de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite; Mather (1955) para o município de Chapadinha-MA, Balsas e Turiaçu.

Somente a classificação climática para o município de Balsas corroborou com os resultados obtidos no presente estudo. Na Figura 8 constam as classificações climáticas de Köppen e Thornthwaite para o Estado do Maranhão.

**Figura 8 – Classificações climáticas de Köppen e Thornthwaite.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 6. CONCLUSÃO

O Estado do Maranhão conta com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa e uma seca. Os maiores volumes de precipitação ocorrem mais para a região Norte e Leste do Estado, ao passo que para as regiões Central, Sudeste, Sul e Sudoeste tais volumes diminuem. A estação chuvosa para o Norte e Leste do Estado se estende de janeiro a junho, com a estação seca de julho a dezembro. Para as demais regiões a estação chuvosa vai de janeiro a abril, com estação seca de maio a dezembro. As precipitações totais durante o ano apresentam variação aproximada de 1040 a 2220 mm para as quinze estações avaliadas.

Com base na classificação climática de Köppen, as quinze estações meteorológicas avaliadas apresentam três tipos climáticos, sendo Aw, Aw' e Am. Por outro lado, pela

classificação climática de Thornthwaite há uma maior variabilidade de tipos climáticos, porém, todos são megatérmicos, apresentando concentrações da ETP de verão inferior à 48,0% em relação à ETP total anual. As regiões Norte e Leste são mais úmidas quando comparadas as demais regiões do Estado.

Ressalta-se a importância de se fazer mais estudos nessa temática para o Estado, pelo fato de sua escassez na literatura e mais ainda por sua importância para o planejamento agrícola, gestão de recursos hídricos, zoneamento agroclimático, planejamento de irrigação, dentre outras aplicações.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA. 2016.

ALMEIDA, H. A.; HERMENEGIDIO, G. M. dos S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 32-47, 2013.

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

ÁVILA, P. L. R.; SOUZA, E. B.; PINHEIRO, A. N.; FIGUEIRA, W. S. Análise da precipitação sazonal simulada utilizando o regcm4 sobre o estado do Pará em anos de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, 14, p. 50-75, 2014.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos** / J. O. Ayoade; tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; revisão de Suely Bastos; coordenação editorial de Antonio Christofolletti. – 12ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 332p.

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; & MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Engenharia Agrícola**, 29, p. 52-61, 2009.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(7), 730-735. 2010. doi: 10.1590/S1415- 43662010000700007

BLAIN, G. C. Considerações estatísticas relativas à oito séries de precipitação pluvial da secretaria de agricultura e abastecimento do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24, p. 12-23, 2009.

BLAIN, G. C. et al. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.807-815, jul./set. 2009.

BLAIN, G. C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.25, n.1, p.114-124, mar. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Atlas Climatológico do Brasil**: reedição de mapas selecionados. Rio de Janeiro, 1969. 100p.

BRITO, T. R. C.; LIMA, J. R. S.; OLIVEIRA, C. L.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. D.; MEDEIROS, E. V.; ALVES, E. M. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(2), p. 870-886, 2020.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.1, p.1-11, jan./mar. 2009.

DANTAS, A. A. A. et al. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DINIZ, A. F.; SANTOS, R. L.; SANTOS, 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, maio/nov. 2008.

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, dez. 2005.

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 32-46, jul./dez. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>>. Acesso em: 25 de ago. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estado do Maranhão: vegetação**. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão / Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1ª Ed. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos**. 2022. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/#>>.

KÖPPEN, W. **Grundriss der Klimakunde**: Outline of climate Science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 488-498, 1980.

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

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10(2), p. 397-407, 2006.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita**, Noroeste do Estado de São Paulo. 2009. 89 f. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.

LIMA, M. G. de; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. **Climas do Piauí e suas relações com a conservação do solo**. In: *Climas do Piauí: interações com o ambiente* / Organização, Milcíades Gadelha de Lima... [et al.] – Teresina: Edufpi, 2020. 144p.



LOPES, I.; GUIMARÃES, M. J. M.; MELO, J. M. M.; RAMOS, C. M. C. Balanço hídrico em função de regimes pluviométricos na região de Petrolina-PE. **Irriga**, 22, p. 443-457, 2017.

MARANHÃO. **Atlas do Maranhão** / Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. São Luís: GELPLAN. 2002.

MEDEIROS, R. M.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SABOYA, L. M. F.; FRANCISCO, P. R. M. Classificação climática e zoneamento agroclimático de culturas para São João do Cariri - PB. **Enciclopédia Biosfera**, 11(21), p. 2984-2996, 2015.

MEENA, A.; HANIEF, M.; DINAKARAN, J.; RAO, K. S. Soil moisture controls the spatio-temporal pattern of soil respiration under different land use systems in a semi-arid ecosystem of Delhi, India. **Ecological Processes**, 9, p. 1-13, 2020.

MELLO, M. A.; ARRUDA, H. V.; ORTOLANI, A. A. Probabilidade de ocorrência de totais pluviiais máximos horários, em Campinas – São Paulo. **Revista IG**, São Paulo, v. 15, n. 1/2, p. 59-67, 1994.

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

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, 2000. p. 1334-1342. 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.

NOBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.3, n.1, p.18-22, maio/ago. 2010.

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, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 12(6), p. 3021-3027, 2018.

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; & SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 28(2), p. 531-551, 2011.

PASSOS, M. L. V.; SOUZA, J. B. C.; MENDES, T. J. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Turiaçu-MA. **Agropecuária Científica no Semiárido**, ACSA, Patos-PB, v. 14, n.2, p.149-155, abril-junho, 2018, ISSN: 1808-6845.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016. ISSN 1982-7679

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Revista Scientia Agraria**, 18, p. 83-89, 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Meteorologia agrícola. Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq, Departamento de Ciências Exatas. Piracicaba – SP, 2007.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas** - Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. FEALQ. 1997. 183p.

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.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, L. S. B. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, 188, p. 104-157, 2020.

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**, Ano -12 – Vol. 19 – JUL/DEZ, 2016.

ROLIM, G. S. et al. Classificação climática de Koppen 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, out./dez. 2007.

SANTOS, D. F. dos. Entenda a disponibilidade hídrica e a evapotranspiração no Brasil. **agrosmart**. 2016. Disponível em: <https://agrosmart.com.br/blog/disponibilidade-hidrica-evapotranspiracao/#:~:text=No%20Norte%20do%20Brasil%20apenas,precipita%C3%A7%C3%A3o%20menor%20do%20que%20evapotranspira%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 12/12/2022.

SANTOS, F. D. dos; AQUINO, C. M. S. de. Análise das precipitações pluviométricas no município de Castelo do Piauí, Nordeste do Brasil. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online) 21, 619- 633, 2017.

SANTOS, G. O. et al. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, out./dez. 2010.

SANTOS, R. B. et al. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop – MT. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.6, n.1, p.72-88, jan./abr. 2013.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966. 61p.

SILVA, A. L. C. **Estudo do balanço hídrico na bacia do rio Pajeú utilizando o modelo Swim** (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE. 2019.

SILVA, J. R. I. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, 13(10), p. 1-10, 2017.

SILVA, L. É. P.; BRACHT, E. Uma nova abordagem para o cálculo de balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, 2(1), 2-16, 2010. doi: 10.5335/rbca.2013.722.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A.; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SILVA, R. F. V. (2016). Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 21, p. 416-428, 2016.

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. Sinop, MT, Brasil. **Nativa**, v. 01, n. 01, p.34-43, out./dez., 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.; CORREIA, W. S. C.; FILETI, R. B.; VALE, C. C. (2014). Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 7, 83-92.

STERN, H.; HOEDT, G.; ERNST, J. Objective Classification of Australian Climates. Australia: **Bureau of Meteorology**. 2005.

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.

STRECK, N. A. et al. Variabilidade interdecadal na série secular de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.8, p.781-790, ago. 2011.

TEIXEIRA, R. F. B. O fenômeno de brisa e a sua relação com a chuva sobre Fortaleza – Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 282-291, 2008.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Campinas, SP: Unicamp/FEAGRO. 2017.

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

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

TREWARTHA, G. T. **Na Introduction to Climate**. New York: McGraw-Hill, 1954. 420p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA). **Bacias hidrográficas e climatologia do Maranhão** / Universidade Estadual do Maranhão. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo Geoambiental. - São Luís, 2016. 165p.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão Digital, 2006. 463p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. UFV, 1991. 449p.

VIEIRA, L. S. **Manual de ciências do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 467p. 1975.

World Water Development Report (WWDR). **Relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos – 2017**. (UN –2017). Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552por.pdf>