



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELMO JORGE RODRIGUES

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO
ESTADO DO CEARÁ

CRATEÚS

2024

ELMO JORGE RODRIGUES

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO
ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.

CRATEÚS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R612b Rodrigues, Elmo Jorge.
Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Ceará / Elmo Jorge Rodrigues. – 2024.
91 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús,
Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre.
1. Balanço hídrico climatológico. 2. Classificação climática. 3. Evapotranspiração. I. Título.
CDD 620
-

ELMO JORGE RODRIGUES

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO
ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: 01/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ma. Tatiane Lima Batista
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ma. Karina Albuquerque da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela dádiva da vida, pela saúde e pela força necessária em todos os momentos desta jornada acadêmica.

A minha mãe, Osmarina, por seu amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem em mim. Ao meu pai, Evanilson (*in memoriam*).

À minha família, em especial Edna, Edmo e Elvis, que sempre estiveram ao meu lado, oferecendo palavras de incentivo e compreensão nos momentos de maior desafio.

Aos meus tios Gorete e Raimundo, que também colaboraram com minha estadia em Crateús para estudar.

Ao Prof. Alan Michell Barros Alexandre pela paciência e pelo compartilhamento de seus conhecimentos ao longo da realização deste trabalho.

Aos professores participantes da banca examinadora Tatiane Lima Batista e Karina Albuquerque da Silva pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de curso, especialmente Laryssa, Renan, Júlio César e vários outros, por toda a troca de experiências e pelo apoio durante essa caminhada.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio. A todos, o meu sincero obrigado.

“Audaces fortuna juvat.”

Virgílio

RESUMO

A variabilidade sazonal da chuva no Ceará destaca a necessidade de gerenciamento estratégico da disponibilidade hídrica, pois regiões desafiadoras como o semiárido nordestino enfrentam dificuldades na gestão de recursos devido a características climáticas e fisiográficas. Dessa forma, o balanço hídrico climatológico e a classificação climática torna-se uma ferramenta essencial para monitorar o solo, definir estratégias de manejo, identificar déficits e demandas de irrigação. Onde, este trabalho tem por objetivo geral analisar a variabilidade espacial e numérica do balanço hídrico climatológico no estado. Este estudo pretendeu ainda: a) a determinação das médias históricas de precipitação, evaporação e temperatura mensais entre 1961 e 2020 para as estações meteorológicas localizadas no estado do Ceará; b) o cálculo da evapotranspiração potencial das estações em análise através de diferentes métodos disponíveis na literatura; c) a análise da variabilidade espacial e temporal do balanço hídrico climatológico no estado do Ceará; d) a realização da classificação climática regional do estado. O método se dividiu em 6 etapas, em que na primeira foi realizado a delimitação da área de estudo, posteriormente foi feito o levantamento dos dados, cálculo das médias históricas, cálculo da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith, cálculo do balanço hídrico climatológico e por fim a classificação climática do estado. O estudo compreende 12 estações meteorológicas do INMET localizadas no estado do Ceará. A classificação climática de Köppen resultou, na grande maioria das estações, como BSh, indicando um clima semiárido seco e quente. Os resultados referentes a classificação climática proposta por Thornthwaite e Mather para o estado do Ceará foi C1/D s2 A' a', ou seja, subúmido seco e semiárido, com o subtipo climático de grande deficiência no inverno, caracterizando-o como megatérmico a'. Por fim, espera-se que a pesquisa contribua para uma compreensão mais profunda da variabilidade climatológica estado dando subsídio a tomada de decisão referente aos usos múltiplos dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Balanço hídrico climatológico, classificação climática, evapotranspiração.

ABSTRACT

The seasonal variability of rainfall in Ceará highlights the need for strategic management of water availability, as challenging regions like the semi-arid Northeast face difficulties in resource management due to climatic and physiographic characteristics. Thus, the climatological water balance and climatic classification become essential tools for monitoring the soil, defining management strategies, and identifying irrigation deficits and demands. The general objective of this work is to analyze the spatial and numerical variability of the climatological water balance in the state. This study also aimed to: a) determine the historical averages of monthly precipitation, evaporation, and temperature from 1961 to 2020 for meteorological stations located in the state of Ceará; b) calculate the potential evapotranspiration of the stations under analysis using different methods available in the literature; c) analyze the spatial and temporal variability of the climatological water balance in the state of Ceará; d) perform the regional climatic classification of the state. The method was divided into six stages: first, the study area was delimited, then data collection was conducted, followed by the calculation of the historical averages, the calculation of evapotranspiration using the Thornthwaite and Penman-Monteith methods, the calculation of the climatological water balance, and finally, the climatic classification of the state. The study includes 12 INMET meteorological stations located in the state of Ceará. The Köppen climatic classification resulted in most stations being classified as BSh, indicating a hot and dry semi-arid climate. The results for the climatic classification proposed by Thornthwaite and Mather for the state of Ceará were C1/D s2 A' a', meaning dry subhumid and semi-arid, with the climatic subtype of great winter deficiency, characterizing it as megathermal a'. Finally, it is expected that the research will contribute to a deeper understanding of the state's climatological variability, providing support for decision-making regarding the multiple uses of water resources.

Keywords: Climatological water balance, climate classification, evapotranspiration

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Caracterização do indicador de grupo climático.....	62
Gráfico 2 – Caracterização do indicador de tipo climático.....	63
Gráfico 3 – Caracterização do indicador de subtipo climático.....	64
Gráfico 4 – Tipos Climáticos baseado no Índice de Umidade (Iu).....	69
Gráfico 5 – Subtipos Climáticos baseados no Índice de Aridez (Ia).....	69
Gráfico 6 – Classificação climática de Thornthwaite, baseados no índice térmico anual (It) (ETPanual).....	70
Gráfico 7 – Classificação climática de Thornthwaite, baseado na relação de ETP de verão e anual.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de atividades.....	27
Figura 2 - Mapa de localização das estações.....	29
Figura 3 - Correlação entre as estações de Quixeramobim e Barbalha.....	32
Figura 4 - Caracterização climatológica da temperatura média do Estado do Ceará.....	42
Figura 5 - Caracterização climatológica da evaporação do Estado do Ceará.....	45
Figura 6 - Caracterização climatológica da precipitação do Estado do Ceará.....	47
Figura 7 - Evapotranspiração potencial Penman-Monteith vs Thornthwaite (mm).....	53
Figura 8 – BHC para Crateús, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	55
Figura 9 – BHC para Acaraú, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	56
Figura 10 – BHC para Barbalha, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	56
Figura 11 – BHC para Campos Sales, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	56
Figura 12 – BHC para Fortaleza, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	56
Figura 13 – BHC para Guaramiranga, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	57
Figura 14 – BHC para Iguatu, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	57
Figura 15 – BHC para Jaguaruana, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	58
Figura 16 – BHC para Morada Nova, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	58
Figura 17 – BHC para Quixeramobim, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	58
Figura 18 – BHC para Sobral, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	59
Figura 19 – BHC para Tauá, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith.....	59
Figura 20 - Espacialização do excedente hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano.....	60
Figura 21 - Espacialização do excedente hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano.....	61
Figura 22 - Espacialização do déficit hídrico no estado do Ceará - 1º semestre do ano.....	62
Figura 23 - Espacialização do déficit hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano.....	63
Figura 24 – Índice hídrico (Ih) para o estado do Ceará.....	68
Figura 25 – Índice de umidade (Iu) para o estado do Ceará.....	69
Figura 26 – Índice de aridez (Ia) para o estado do Ceará.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações meteorológicas avaliadas no estudo.....	29
Tabela 2 - Caracterização do indicador de grupo climático.....	33
Tabela 3 - Caracterização do indicador de tipo climático.....	34
Tabela 4 - Caracterização do indicador de subtipo climático.....	34
Tabela 5 - Chave primária com Tipos Climáticos baseado no Índice de Umidade (Iu).....	35
Tabela 6 - Chave secundária com Subtipos Climáticos baseados no Índice de Aridez (Ia) e Índice Hídrico (Ih).....	36
Tabela 7 - Chave terciária da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice térmico anual.....	36
Tabela 8 - Quarta chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre a ETP de verão e anual.....	37
Tabela 9 - Temperaturas máximas mensais e anuais (em °C).....	38
Tabela 10 - Temperaturas mínimas mensais e anuais (em °C).....	39
Tabela 11 - Temperaturas médias mensais e anuais (em °C).....	40
Tabela 12 - Umidade relativa do ar mensal (%).....	42
Tabela 13 - Evaporação mensal do Piche (mm).....	43
Tabela 14- Precipitação total mensal (mm).....	45
Tabela 15 - Insolação total mensal (mm).....	47
Tabela 16 - Velocidade média mensal do vento (m/s).....	47
Tabela 17 - Maiores valores encontrados de Evapotranspiração potencial por método (mm). 48	
Tabela 18 - Legenda dos métodos da tabela anterior.....	49
Tabela 19 - Evapotranspiração potencial método Thornthwaite e Penman-Monteith (mm)....	50
Tabela 20: Índices hídrico (Ih), de umidade (Iu) e de aridez (Ia).....	64
Tabela 21 – Erro percentual relativo para método de Penman-Monteith como referencial.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
QGIS	Quantum GIS
P	Precipitação total
ET _o	Evapotranspiração de referência
ETP	Evapotranspiração potencial
ETR	Evapotranspiração real
CAD	Capacidade de água disponível
BHC	Balanço hídrico climatológico
ARM	Total de água retida no solo
EXC	Excedente
DEF	Déficit
FAO	Food and Agriculture Organization
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Contextualização.....	16
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Delimitação.....	17
1.4	Objetivos.....	18
1.5	Roteiro temático.....	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1	Balanco hídrico climatológico.....	20
2.1.1	Contexto histórico.....	21
2.1.2	Componentes.....	22
2.1.2.1	Métodos para cálculo da evapotranspiração real.....	23
2.1.2.1.1	Método de Thornthwaite.....	24
2.1.2.1.2	Método de Penman-Monteith.....	24
2.2	Classificação climática.....	25
2.2.1	Quantum GIS (QGIS).....	26
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	27
3.1	Descrição da área de estudo.....	28
3.2	Escolha do intervalo.....	30
3.3	Análise e Processamento de dados.....	31
3.4	Elaboração dos Mapas.....	32
3.5	Cálculo do BHC do balanço hídrico e classificação climática.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1	Médias históricas.....	39
4.2	Evapotranspiração potencial.....	49
4.3	Balanco hídrico climatológico.....	54
4.4	Classificação climática.....	63
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	76

Anexo A – Cálculo do BHC para o município de Crateús-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	80
Anexo B – Cálculo do BHC para o município de Acaraú-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	81
Anexo C – Cálculo do BHC para o município de Barbalha-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	82
Anexo D – Cálculo do BHC para o município de Tauá-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	83
Anexo E – Cálculo do BHC para o município de Campos Sales-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	84
Anexo F – Cálculo do BHC para o município de Fortaleza-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	85
Anexo G – Cálculo do BHC para o município de Guaramiranga-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	86
Anexo H – Cálculo do BHC para o município de Iguatu-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	87
Anexo I – Cálculo do BHC para o município de Jaguaruana-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	88
Anexo J – Cálculo do BHC para o município de Morada Nova-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	89
Anexo K – Cálculo do BHC para o município de Quixeramobim-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	90
Anexo L – Cálculo do BHC para o município de Sobral-CE, pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith.....	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O balanço hídrico climatológico (BHC) pode ser definido como o fluxo de entrada e saída de água no solo, levando em consideração a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração real e potencial, o armazenamento de água no solo, a deficiência hídrica e o excedente hídrico (Matos et al., 2018; Passos et al., 2016; Holanda e Medeiros, 2019). Já a classificação climática é um método utilizado para categorizar os diferentes tipos de clima em uma determinada região, baseando-se no cálculo do balanço hídrico climatológico.

Ademais, de acordo com Miranda e Santos; Couto (2008), o balanço hídrico é uma ferramenta multifacetada que encontra aplicação em diversas áreas distintas. Entre suas aplicações destacam-se: servir como base para a classificação climática, possibilitar o zoneamento agroclimático da região, permitir a comparação dos climas entre diferentes localidades, fornecer conhecimento sobre o regime hídrico de uma determinada região, facilitar o cálculo da demanda mensal de água para irrigação, auxiliar na tomada de decisões para o planejamento agrícola, contribuir para a definição de prioridades nas pesquisas agropecuárias e desempenha um papel importante na prevenção de incêndios florestais.

Nesse sentido, estudar este tema especificamente para o estado do Ceará é de extrema importância na atualidade. Isso se justifica pelo fato que a análise dos parâmetros climáticos do BHC desempenha um papel fundamental como ferramenta de monitoramento do armazenamento de água no solo, permitindo a classificação do clima da região, determinação de zoneamentos agroclimáticos, identificação do período de excedente e deficiência hídrica no solo (mensais e anuais) e contribui para o controle de irrigação (Pereira et al., 2002). Logo, essas informações permitem que os produtores identifiquem as vulnerabilidades climáticas, o que torna uma ferramenta indispensável para o sucesso de empreendimentos agrícolas (Santos et al., 2010).

No entanto, um problema relacionado a esse tema é que várias áreas na região Nordeste do Brasil (NEB) sofrem com a escassez de água por conta das secas sazonais e periódicas. Essas condições climáticas têm um impacto significativo no sucesso das atividades agrícolas, pecuárias e no abastecimento geral da população (Sá e Silva, 2010). Isso ressalta a importância urgente de estratégias eficazes de gestão de recursos hídricos e adaptação às mudanças climáticas para garantir a sustentabilidade e a resiliência dessa região diante desses desafios.

Pois, a NEB apresenta uma climatologia complexa, com alta variabilidade interanual e um clima predominantemente semiárido. O padrão de chuvas se concentra em quatro meses ao longo do ano e é afetado por diferentes movimentos atmosféricos que podem promover ou inibir a formação de nuvens precipitantes (Nobre, 2012). Com isso, surge a necessidade de entender como o BHC pode ser classificado regionalmente e qual sua variabilidade no estado do Ceará em termos de severidade, distribuição espacial e temporal.

1.2 Justificativa

Este trabalho justifica-se por várias razões, dentre elas: apesar da grande relevância desse tema conforme apresentado no estudo de Pereira et al. (2002) e Santos et al. (2010), até o momento não se tem estudos e experiências que abordam especificamente sobre o mesmo neste estado; secas anteriores na região nordeste já demonstrarem o risco de comprometimento da estabilidade social e segurança da população, tendo impactos significativos em setores como agricultura, agroindústria, agropecuária, geração de energia e irrigação, saúde pública, migração e empregos (Marengo et al, 2011).

Sendo assim, a elaboração deste trabalho sobre o tema balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Ceará acaba sendo uma contribuição significativa para a busca de soluções para esses problemas, uma vez que essa iniciativa contribuiria para a ampliação do conhecimento dos leitores acerca dessa temática específica, preenchendo uma lacuna existente na literatura.

1.3 Delimitação

Este trabalho limita-se ao estado do Ceará, englobando as estações meteorológicas que coletam dados meteorológicos nos municípios de Acaraú, Sobral, Fortaleza, Guaramiranga, Jaguaruana, Crateús, Quixeramobim, Morada Nova, Tauá, Iguatu, Campos Sales e Barbalha, no período de 60 anos, entre 1961 e 2020.

Para o estudo de operação das estações em questão, os dados relacionados à precipitação e suas demandas serão adquiridos junto ao INMET, com o uso do método de preenchimento de falhas para estimar os dados faltantes pelo método de regressão linear. Será utilizado uma planilha eletrônica denominada "BHídrico GD 4.0 - 2004" (D'Angiolella e Vasconcellos, 2004) de para cálculo da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith e o software utilizado para realizar os mapas será o QGIS.

1.4 Objetivos

Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa é analisar a variabilidade do balanço hídrico climatológico no estado do Ceará.

Os objetivos específicos consistem em:

- Determinar as médias históricas das variáveis disponíveis na base de dados do INMET entre 1961 e 2020 para as estações meteorológicas localizadas no estado do Ceará.
- Calcular a evapotranspiração potencial das estações em análise através do método de Thornthwaite e Penman-Monteith.
- Realizar a classificação climática regional do estado.

1.5 Roteiro temático

O estudo foi conduzido em quatro fases distintas. Inicialmente, é apresentado na primeira seção a contextualização do problema de pesquisa, destacando a importância do estudo da variabilidade climática e da gestão dos recursos hídricos no estado do Ceará. Também são estabelecidos os objetivos geral e específicos da pesquisa, além da justificativa para a realização do estudo.

O segundo capítulo discute os principais conceitos e teorias que embasam o estudo, incluindo o balanço hídrico climatológico (BHC) e suas aplicações, a evapotranspiração, além dos métodos de classificação climática de Köppen e Thornthwaite. São abordados também os aspectos relacionados às médias históricas e a importância da análise temporal e espacial dos dados climáticos.

No terceiro capítulo, são descritos os procedimentos adotados para a realização da pesquisa. Detalha-se a escolha da área de estudo, as fontes de dados meteorológicos, os métodos de cálculo da evapotranspiração (Thornthwaite e Penman-Monteith) e o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico. A metodologia para a classificação climática também é discutida.

A seção dos resultados e discussões apresenta e discute os principais achados da pesquisa. Os resultados das médias históricas, a variabilidade do BHC e a classificação climática do estado do Ceará são analisados. Comparações entre os métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith também são feitas, destacando os padrões de déficit e excedente hídrico nas diferentes regiões do estado.

Por fim, o último capítulo traz uma síntese dos resultados obtidos, destacando as contribuições do estudo para a gestão dos recursos hídricos no Ceará. São apresentadas sugestões para futuros estudos e discussões sobre a aplicabilidade prática dos resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Será abordado o acervo teórico essencial para compreender o trabalho nesta seção. Serão apresentados os conteúdos necessários para caracterizar a região em estudo, estando incluso o balanço hídrico climatológico, tipos e componentes do balanço hídrico, classificação climática e contexto histórico.

2.1 Balanço hídrico climatológico

Amorim Neto (1989), determina que para se estimar o potencial hídrico de um determinado local o método mais eficiente é o balanço hídrico, por levar em consideração além de suas características físicas e a interferência no armazenamento de água no solo, também fatores associados à evapotranspiração e à precipitação, o que possibilita conhecer os níveis de deficiência e excedente hídrico no solo.

Com isso, este monitoramento pode auxiliar na tomada de decisões estratégicas para o desenvolvimento das culturas agrícolas, permitindo a classificação do clima de uma região, a determinação de zoneamentos agroclimáticos e a identificação dos períodos de excedente e deficiência hídrica no solo, tanto em escalas mensais quanto anuais. Sendo ainda uma ferramenta crucial na gestão dos recursos hídricos, especialmente para processos de outorga de uso da água, a previsão de vazões, abastecimento humano, recarga de aquíferos, geração de energia, índices de umidade do solo para culturas agrícolas e vegetação natural, demandas de irrigação de culturas, e uma série de outros aspectos (ANA, 2005).

Thornthwaite e Mather (1955) desenvolveram o balanço hídrico climatológico (BHC) como uma abordagem simples e rápida para determinar o regime hídrico de uma área, sem a necessidade de medidas diretas das características físico-hídricas do solo. Esse método requer variáveis importantes, como a definição da capacidade máxima de armazenamento do solo (Capacidade de Água Disponível - CAD), que varia de acordo com o tipo de cultura, a precipitação total (P) e a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) para cada período (Damião et al., 2010).

Para Sentelhas e Angelocci (2009), o balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é considerado um instrumento agrometeorológico útil e prático que permite a caracterização da umidade do solo. Sendo ainda, considerado para Reichardt (1990), como a primeira avaliação de água no solo em uma determinada região, onde se contabiliza a entrada de saída de água do solo. Pois, ele serve como base para estimar

tanto o excedente hídrico quanto à deficiência hídrica, permitindo assim, uma avaliação simples e prática do regime hídrico de uma região específica (Oliveira e Oliveira, 2019).

2.1.1 Contexto histórico

O início do estudo científico da evaporação natural se deu em 1934, com Dalton (Deacon et al., 1958). Pouco tempo depois, em 1944, o conceito de evapotranspiração potencial foi introduzido por Thornthwaite, considerado um dos avanços mais significativos dos aspectos da umidade climática (Mather, 1958).

Inicialmente introduzido em 1944, o método de Thornthwaite foi considerando variáveis como o comprimento do dia, a temperatura média diária e a umidade relativa média do ar. Contudo, posteriormente houve modificações na equação, o termo de umidade relativa foi removido, ficando apenas os termos de temperatura média do ar e comprimento do dia. Conforme afirmado por Conceição (2003), esse método foi concebido para ser aplicado em regiões áridas e semiáridas.

Por volta de 1948, Thornthwaite buscou explicar as variações sazonais no balanço hídrico do solo, buscando distinguir as diferenças climáticas regionais apenas com a utilização da média mensal da duração do dia e da temperatura média do ar. O principal objetivo de Thornthwaite era explicar as variações sazonais do balanço de água no solo e distinguir as diferenças climáticas regionais. Por isso, seu método se baseia na temperatura média do ar e na duração do dia, em média mensal (Sediyama, 1996; Camargo e Camargo, 2000).

Mather (1954) fez uma análise durante seis anos consecutivos em Seabrook, NJ, onde os dados coletados por uma série de evapotranspirômetros instalados, numa área com clima úmido, mostraram uma avaliação de correlação dos dados mensais de ETP. Ao comparar as medições feitas com os valores estimados pelo modelo de Thornthwaite, foi indicada a alta confiabilidade dos dados estimados.

Penman, por sua vez, concentrou sua atenção para os processos físicos envolvidos na evaporação, resultando no desenvolvimento de um método que leva em conta a umidade da superfície do solo e da vegetação para estimar a taxa de evaporação da água em contato com a atmosfera. Assim, sua análise científica foi fundamentada no conhecimento físico que governa o fenômeno, segundo Sediyama (1996), Camargo e Camargo (2000). Logo, essa abordagem científica baseada em princípios físicos, permitiu avanços substanciais na compreensão e modelagem desse importante fenômeno hidrológico.

Monteith aprimorou uma equação para estimar a evapotranspiração desenvolvida por Penman, a qual ficou denominada posteriormente de Penman-Monteith. Ele eliminou a função do vento da equação original, introduzindo as funções de resistência aerodinâmica e resistência do dossel vegetal (Monteith, 1981). Essa equação foi adotada pela FAO (Food and Agriculture Organization) como a equação padrão para estimar a evapotranspiração real e tem sido bastante utilizada por diversos pesquisadores (Allen et al., 1998).

É importante notar que esse método pode apresentar erros próximos a 30%, em condições climáticas especiais (Widmoser, 2009). Contudo, o método foi recomendado como o método-padrão para determinar a ETo após a publicação do boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998). Dessa forma, o novo conceito proposto para a ETP passou a ser a ETo, tornando-se amplamente utilizado desde então. O método recomendado para sua estimativa foi desenvolvido por Penman-Monteith, o qual, após parametrização, passou a denominar-se Penman-Monteith (PM-FAO).

2.1.2 Componentes

A metodologia para cálculo do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955) possibilitou descobrir o fluxo hídrico de um determinado local de maneira simples e rápida, precisando apenas de parâmetros como: precipitação total (P), a evapotranspiração de referência (ETo) e o armazenamento máximo no solo (capacidade de água disponível – CAD). A partir deles pode-se calcular o BHC e estimar a evapotranspiração real (ETR), o total de água retida no solo (ARM) e o excedente (EXC) ou déficit (DEF) hídrico. Com isso, é possível definir os períodos úmidos (excedente hídrico) e secos (deficiência hídrica) de uma localidade (Reichardt, 1990).

a) Evapotranspiração

A evaporação da água é um processo físico que implica na transformação do estado líquido para o gasoso. Esse fenômeno é observado em diversas superfícies, desde corpos de água como mares, lagos, rios e açudes, até em áreas úmidas como plantas e solo. Quando a água é liberada pelas plantas, esse processo é conhecido como transpiração. Em solos parcialmente cobertos por vegetação, tanto a evaporação quanto a transpiração ocorrem, resultando no fenômeno combinado denominado evapotranspiração (Berlato, 1981).

O mesmo desempenha um papel crucial no ciclo hidrológico, contribuindo significativamente para o balanço hídrico. Esse processo é fundamental para estimar a recarga hídrica dos aquíferos, conforme destacado por Valdivia (2005).

b) Evapotranspiração Potencial e de Referência

Segundo Camargo e Camargo (2000), a evapotranspiração potencial (ETp) é o processo pelo qual ocorre a perda de água para a atmosfera, através de uma superfície natural gramada padrão, sem restrição hídrica, para suprir as demandas da evaporação do solo e da transpiração, ambos a caracterizam ainda pela transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera em condições padronizadas. Elas definem a evapotranspiração potencial como o processo de conversão da água do estado líquido para o gasoso, transferindo assim a água do solo para a atmosfera, tendo a radiação solar como a única fonte de energia para tal.

Pode-se dizer que é bastante comum o uso dos termos ETp e ETo. Para estudos climatológicos, o termo ETp quase sempre está ligado à análise do potencial hídrico de uma região e, por conta disso, acaba sendo o mais utilizado. Já a ETo é bastante adequada para projetos e manejo de irrigação, uma vez que a ETo, normalmente, é determinada em duas etapas, aplicando-se o coeficiente de ajuste K_c à evapotranspiração da cultura de referência (Carvalho et al., 2011).

c) Evapotranspiração Real ou Atual

Conforme definido por Matzenauer (1992), a evapotranspiração real representa a quantidade de água que é transferida da superfície para a atmosfera, englobando tanto a evaporação quanto a transpiração, considerando as condições reais dos fatores atmosféricos e a umidade do solo. Geralmente, a evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial.

2.1.2.1 Métodos para cálculo da evapotranspiração real

Optamos pela escolha do método Thornthwaite devido à sua exigência mínima de dados meteorológicos, utilizando apenas a latitude e temperatura do ar como entrada. Já a escolha do método de Penman-Monteith se deu por ser, entre os diferentes modelos de estimativa de evapotranspiração, um método que possui uma sólida fundamentação física e

teórica, a qual utiliza de vários parâmetros (Vega e Jara, 2009). Além disso, ambos demonstraram ter apenas pequenas discrepâncias em suas estimativas quando comparados, conforme evidenciado pelo estudo de Sentelhas et al. (2008).

2.1.2.1.1 Método de Thornthwaite

Foi determinado por Thornthwaite uma equação empírica para a estimativa da evapotranspiração potencial, levando em conta apenas a temperatura como variável meteorológica de entrada. Este método foi proposto visando à classificação climática, para a estimativa da evapotranspiração potencial mensal de um posto meteorológico como um elemento climatológico. A estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) foi determinada conforme a metodologia proposta apresentada na equação 1.

$$ETP = 16 * \left(10 * \frac{T}{I}\right)^a \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T)^{1,514}$$

e

$$a = 6,75 * 10^{-7} * I^3 - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 1,7912 * 10^{-2} * I + 0,49239$$

Em que:

ETp = evapotranspiração potencial anual (mm ano-1);

T = temperatura média mensal (°C);

I = índice anual de calor, correspondente a soma dos doze índices mensais;

a = índice térmico regional.

2.1.2.1.2 Método de Penman-Monteith

Para estimar a evapotranspiração potencial proposta por Penman (1948), de início não era considerada a função de resistência da superfície para a transferência de vapor de água (Carvalho et al., 2009). Contudo, posteriormente Monteith desenvolveu uma nova equação baseada na equação de Penman, que incorporava tanto a resistência aerodinâmica quanto a resistência do dossel ao fluxo de vapor de água.

A FAO divulgou o método de Penman-Monteith como o padrão para calcular os valores diários de evapotranspiração de referência, amplamente conhecido como Método de Penman-Monteith-56 (Allen et al., 1998). No entanto, de acordo com Pereira et al. (2002) e Popova et al. (2006), uma das principais limitações deste método é a necessidade de medidas precisas de diversas variáveis meteorológicas, tais como temperatura e umidade relativa e do ar, velocidade do vento e radiação solar.

De acordo com Carvalho et al. (2011), em 1990, especialistas revisaram os métodos de estimativa da ETo e concluíram que, em diversas condições climáticas, os resultados obtidos pelo método Penman-Monteith se aproximavam mais dos dados obtidos por pesagem em lisímetros. Desde então, o método foi selecionado como o método-padrão para estimar a evapotranspiração de referência, pois se aproxima da evapotranspiração do padrão grama nos locais avaliados e demonstra superioridade em comparação com outros métodos (CAI et al., 2007; GAVILAN et al., 2007). Complementa ainda Bezerra et al. (2010), afirmando que a FAO recomenda o uso do método Penman-Monteith como padrão para estimar a ETo, tanto para a avaliação de outros métodos de estimativa quanto para sua própria estimativa.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273,16} U_2 \Delta e}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que:

ETo = evapotranspiração de referência (mm.dia-1);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor (kPa.°C-1);

Rn = Radiação líquida (MJ.m-2.d-1);

G = fluxo de calor no solo (MJ.m-2.d-1);

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C-1);

T = temperatura média diária do ar (°C);

U2 = velocidade do vento a 2,0m (m.s-1);

Δe = déficit da pressão de saturação de vapor (kPa);

2.2 Classificação climática

As classificações climáticas desempenham um papel crucial, pois avaliam e categorizam os climas considerando diversos elementos climáticos simultaneamente. Isso

simplifica a troca de informações e permite análises posteriores para uma variedade de objetivos (Rolim et al., 2007). A classificação climática utiliza dados meteorológicos mensais médios padronizados por um período de 30 anos, conforme recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), denominados Normal Climatológica (INMET, 2003). É uma ferramenta crucial para a classificação climática em determinada localidade ao longo do tempo, podendo orientar o planejamento territorial e o zoneamento econômico-ecológico da região.

A classificação climática de Köppen é reconhecida como a classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em climatologia, geografia e ecologia. Proposta inicialmente em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, a mesma foi refinada ao longo do tempo, com atualizações em 1918, 1927 e 1936, em colaboração com Rudolf Geiger, resultando na versão conhecida como Köppen-Geiger. Ela leva em conta a sazonalidade e os valores médios anuais e mensais de temperatura do ar e precipitação (Burgos, 1958). Já a classificação climática de Thornthwaite se baseia em dois índices climáticos principais (umidade e eficiência térmica).

Deste modo, ambas as classificações climáticas emergem como as mais amplamente adotadas, sendo a primeira centrada nas características térmicas e na distribuição sazonal da precipitação, enquanto a segunda em dois índices climáticos. Ambas são essenciais para pesquisas relacionadas à ecologia, agricultura e recursos hídricos (Ayoade, 2010).

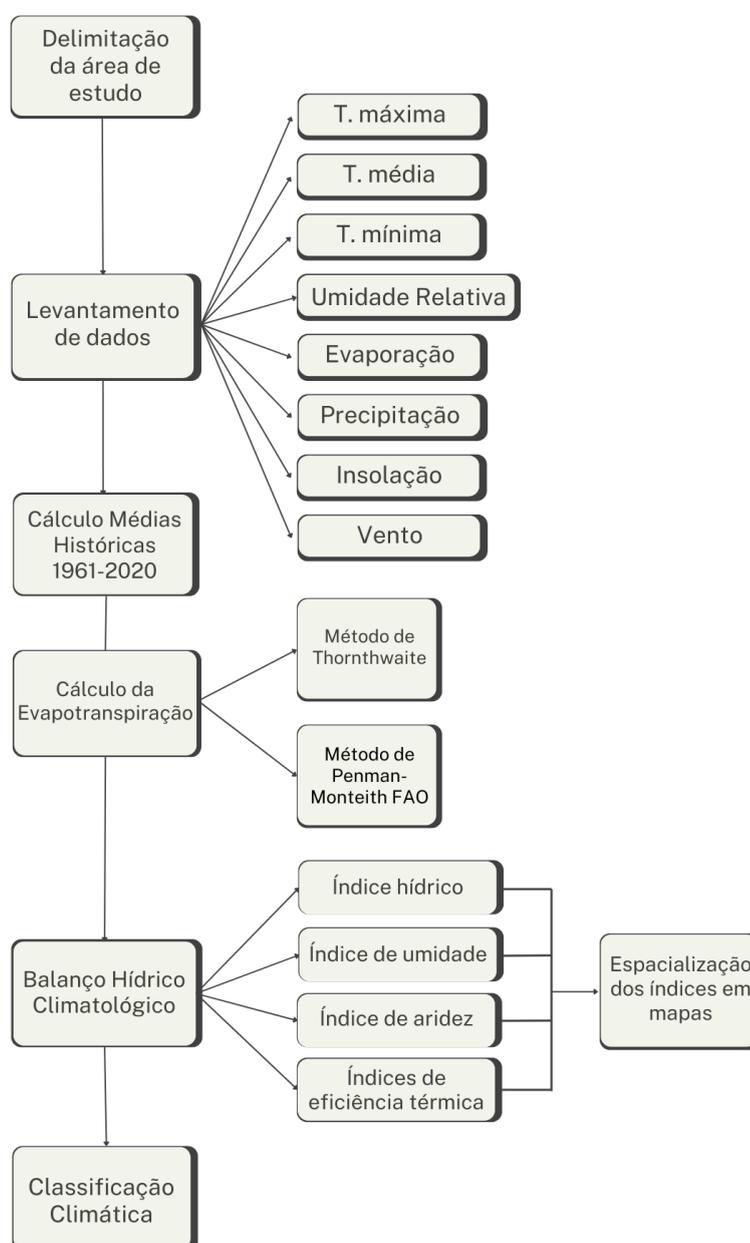
2.2.1 Quantum GIS (QGIS)

O Quantum GIS (QGIS), é um sistema de informação geográfica (SIG) de código aberto amplamente utilizado em análises espaciais, mapeamento e visualização de dados geográficos. O QGIS permite ao usuário criar, editar, visualizar e analisar uma ampla variedade de dados geoespaciais. Onde, os dados gerados, incluindo os mapas, podem ser utilizados para diversas finalidades, tais como análises ambientais, urbanas, demográficas, entre outras (Pejović et al., 2014). Observa-se ainda uma busca em utilizar programas de código aberto, como o QGIS, para necessidades geotecnologias, por possibilitar a automação dos processos de extração dos aspectos do meio físico de forma gratuita, eficiente e em menos tempo (Silva et al., 2018).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesta seção, são descritos os processos feitos para realização deste trabalho, sendo o mesmo dividido em 6 etapas, onde na primeira foi realizado a delimitação da área de estudo, posteriormente foi feito o levantamento dos dados, cálculo das médias históricas, cálculo da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite e Penman-Monteith, cálculo do balanço hídrico climatológico e por fim a classificação climática do estado, como mostra o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de atividades.



Fonte: Autor (2024).

A metodologia utilizada compreendeu uma pesquisa de abordagem quantitativa e de caráter descritivo e exploratório, apresentando uma visão geral sobre o balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Ceará.

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Ceará, situado na porção norte da região Nordeste do Brasil, delimitado pelas coordenadas 2,5° S e 10° S de latitude e 34° W e 42° W de longitude. Com uma área territorial de 148.826 km², o estado corresponde a 9,58% do território nordestino e 1,75% do território nacional (IPECE, 2022). Além disso, possui extensão territorial de 148.894,447 km², com 184 municípios e população aproximada de 8.794.957 habitantes (IBGE, 2022).

Situado na região do semiárido nordestino, as áreas mais áridas de paisagens secas estão concentradas principalmente na depressão localizada a oeste e sudeste do Estado. Nas regiões litorâneas, predominam paisagens subúmidas influenciadas pela presença mais marcante dos alísios. Nessas regiões, o clima também se torna subúmido, com uma caatinga mais densa e uma maior quantidade de chuvas nas proximidades das chapadas e serras (Rodriguez e Silva, 2002).

A disponibilidade de medidas meteorológicas regulares no estado do Ceará ainda é limitada e sujeita a uma grande variação espacial. Foram selecionadas 17 estações meteorológicas convencionais em operação no estado fornecidas pela rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)., das quais somente 12 possuem conjuntos de dados mais consolidado e de forma mais sequencial no intervalo escolhido, apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Mapa de localização das estações.

Mapa de localização das estações - Ceará e Vizinhos



Fonte: Autor (2024).

A seleção das estações se deu com base A obtenção das séries de dados, como precipitação e evaporação ocorreu junto ao INMET, como parte do levantamento de dados climáticos. Em seguida, após a seleção das estações a serem utilizadas, os dados foram organizados e corrigidos. As estações para o estudo estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações meteorológicas avaliadas no estudo.

Código	Estação	Latitude	Altitude (m)	Quantidade de dados disponíveis (%)	Período de dados
82294	Acaraú	-2,9	7,0	46,4	1961 - 2020
82392	Sobral	-3,7	70,0	74,8	1961 - 2020
82397	Fortaleza	-3,7	16,0	80,4	1961 - 2020
82487	Guaramiranga	-4,3	865,0	80,0	1961 - 2020
82493	Jaguaruana	-4,8	20,0	58,4	1961 - 2020
82583	Crateús	-5,2	274,0	68,5	1961 - 2020
82586	Quixeramobim	-5,2	191,0	74,0	1961 - 2020
82588	Morada Nova	-5,1	52,0	83,3	1961 - 2020
82683	Tauá	-6,0	402,0	64,2	1961 - 2020
82686	Iguatu	-6,4	217,0	70,6	1961 - 2020
82777	Campos Sales	-7,1	567,0	65,5	1961 - 2020
82784	Barbalha	-7,3	414,0	68,9	1961 - 2020

Fonte: Autor (2024).

Nossa compreensão do clima e das condições meteorológicas é amplamente influenciada pela localização geográfica das estações de monitoramento. Com isso, a Tabela 1 apresentada acima contém os dados de latitude e altitude das 12 estações meteorológicas avaliadas no estudo, onde na estação de Acaraú encontramos localizada a uma latitude de -2,9 graus e a uma altitude moderada de 7 metros acima do nível do mar. Na estação de Sobral, mais ao sul, apresenta uma altitude significativamente maior de 70 metros, embora sua latitude seja apenas ligeiramente inferior a -3,7 graus. Avançando para a capital, Fortaleza, vemos uma altitude menor em relação a Sobral, registrando 16 metros acima do nível do mar, mas compartilhando a mesma latitude.

À medida que nos movemos para altitudes mais elevadas encontramos a estação de Guaramiranga, situada a -4,3 graus de latitude, e a uma altitude de 865 metros e, por fim, vemos uma variedade de estações em diferentes altitudes, desde Jaguaruana a 20 metros acima do nível do mar, até Campos Sales a 567 metros, cada uma oferecendo perspectivas únicas sobre as condições climáticas locais.

3.2 Escolha do intervalo

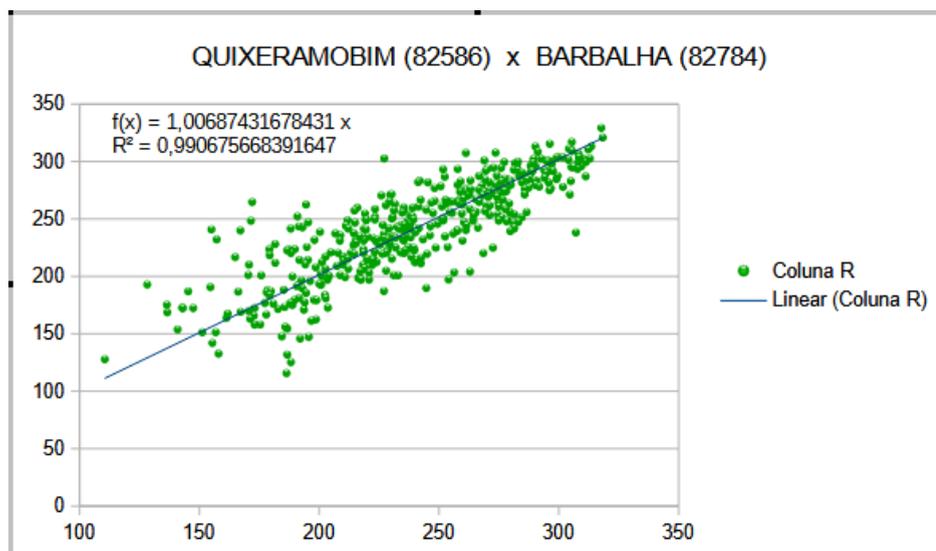
Como afirma WMO (2017), um intervalo de 30 anos pode não ser suficiente para abranger toda a amplitude potencial de variação de um elemento, especialmente no caso da precipitação, que pode apresentar alta variabilidade temporal e espacial. Embora ainda seja recomendado um período de 30 anos como padrão para calcular os limites do quintil nas médias históricas, a estabilidade das estatísticas mais extremas derivadas desse período provavelmente será baixa para alguns elementos. Logo, considerando o conjunto de dados históricos foi escolhido um espaço de 60 anos, o qual se inicia no ano de 1961 e finaliza em 2020.

As médias históricas obtidas a partir desses dados servem como referência para comparação com observações recentes ou atuais, fornecendo uma base para muitos conjuntos de dados climáticos baseados em anomalias (por exemplo, temperaturas médias globais). Além disso, são amplamente utilizadas, implícita ou explicitamente, como uma previsão das condições mais prováveis de ocorrer em um determinado local.

3.3 Análise e Processamento de dados

Como havia estações meteorológicas com dados faltantes em determinados períodos na série coletada de 1961 a 2020, recorreu-se ao método de preenchimento de falhas, empregando o método da regressão linear para estimá-los, onde para escolha dos postos foram avaliados os coeficientes de correlação de Pearson R de um ou mais postos vizinhos para saber o grau da correlação linear entre eles. As estimativas dos dois parâmetros da regressão são obtidas com o auxílio de uma planilha do Excel, ao plotar os dados de precipitação dos dois postos ao longo do tempo e adicionar uma linha de tendência, conforme exemplificado abaixo na Figura 3.

Figura 3 - Correlação entre as estações de Quixeramobim e Barbalha



A equação da regressão linear é gerada automaticamente, descrita pela seguinte expressão:

$$y = ax + b \quad (3)$$

Em que:

y : precipitação estimada do posto Y;

a,b : constantes da regressão linear;

x : precipitação do posto a ser correlacionado.

Essa fase foi essencial para a padronização do período de dados e para a análise estatística da precipitação na base de dados, assegurando, conseqüentemente, maior confiabilidade e precisão das informações na elaboração do estudo.

3.4 Elaboração dos Mapas

Na metodologia empregada, os mapas e representações foram criados utilizando o método estatístico de interpolação e ponderação pelo inverso da distância (Inverse Distance Weighting - IDW), que atribui valores a locais não medidos com base nos valores amostrais de pontos próximos, através do programa QGIS (versão 3.30.1), onde o peso de cada ponto é inversamente proporcional à distância (Gardiman Junior et al., 2012).

3.5 Cálculo do BHC do balanço hídrico e classificação climática

A técnica utilizada para o cálculo do balanço hídrico climatológico, baseia-se no modelo proposto por Thornthwaite & Mather (1955), em que foi aplicada por meio de uma planilha eletrônica denominada "BHídrico GD 4.0 - 2004", dos autores D'Angiolella e Vasconcellos (2004). A análise englobou médias mensais de temperatura e precipitação, abrangendo um conjunto de dados históricos durante o período de 1961 a 2020 (60 anos). Em que os dados de precipitação, temperatura, insolação etc. usados estão disponíveis no banco de dados históricos da rede de estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A capacidade de água disponível no solo (CAD) foi fixada em 100 mm durante a execução do balanço. A partir dos dados iniciais de evapotranspiração potencial (ETP) e precipitação, foram elaborados gráficos que demonstram o excedente e déficit hídrico, bem como a evolução da precipitação, evapotranspiração real e evapotranspiração de referência.

A tipologia climática elaborada neste estudo é baseada no sistema de classificação de Thornthwaite. Para isso, foram utilizados os valores de DEF, EXC e ETP derivados do BHC, cujos resultados foram avaliados com base no índice de Aridez, índice hídrico e Índice de Umidade.

O Índice de Aridez é definido com base na deficiência hídrica em relação à evapotranspiração potencial, ambas calculadas anualmente, conforme a seguinte expressão:

$$Ia = (DEF/ETP) * 100 \quad (4)$$

Em que:

Ia – Índice aridez;

DEF – Deficiência hídrica (mm); e

ETP – Evapotranspiração potencial anual (mm).

Já o Índice Hídrico representa o excesso de água em relação à necessidade anual de evapotranspiração potencial, expresso como porcentagem, conforme a seguinte equação:

$$Ih = (EXC/ETP) * 100 \quad (5)$$

Em que:

Ih – Índice hídrico;

EXC – Excedente hídrico (mm); e

ETP – Evapotranspiração potencial anual (mm).

Por fim, a terceira equação corresponde ao Índice de Umidade, o qual relaciona os dois índices mencionados anteriormente e é responsável por determinar o tipo climático do local. Esse índice representa a condição climática que engloba os períodos úmidos e secos ao longo do ano.

$$Iu = Ih - 0,6 * Ia \quad (6)$$

Em que:

Iu – Índice de umidade;

Ih – Índice hídrico; e

Ia – Índice aridez.

a) Classificação segundo Köppen

O método de Köppen se fundamenta na categorização de diversas regiões, tipos e variedades climáticas através da definição de indicadores de grupo (Tabela 2), indicadores de tipo (Tabela 3) e indicadores de subtipo (Tabela 4). Esses indicadores são ferramentas fundamentais para compreender e categorizar os diferentes tipos de climas encontrados em diversas regiões ao redor do mundo. Por conta disso, a classificação de Köppen é amplamente utilizada em estudos climáticos, geográficos e ambientais devido à sua simplicidade e eficácia na descrição das características climáticas de uma determinada área.

Tabela 2 - Caracterização do indicador de grupo climático.

Código	Tipo de clima	Descrição
A	Tropical	Climas megatérmicos: Tmédia do mês mais frio > 18°C; Estação invernal ausente; P anual superior a ETP anual
B	Seco	Climas secos (P anual < 500 mm); ETP anual superior a P anual; Inexistência de cursos d'água permanentes
C	Temperado	"Climas mesotérmicos; Tmédia do mês mais frio entre -3 e 18°C (considerando a mínima média)*; T média do mês mais quente > 10°C; Verão e inverno bem definidas"
D	Continental	"Climas microtérmicos; T média do ar do mês mais frio < -3°C; T média do mês mais quente > 10°C; Verão e inverno bem definidas"

E	Glacial	"Climas polares e de alta montanha; T média no mês mais quente < 10°C; Verão pouco definida ou inexistente"
---	---------	---

*Adaptação da classificação de Köppen (1931).

Tabela 3 - Caracterização do indicador de tipo climático.

Código	Descrição	Grupo
S	Clima semiárido; P anual média entre 380 e 760 mm.	B
W	Clima árido; P anual média < 250 mm	B
F	Clima úmido; Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano; Inexistência de estação seca definida; P do mês mais seco > 60 mm.	A-C-D
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; P anual média >1500 mm e P do mês mais seco < 60 mm	A
T	T média do ar no mês mais quente entre 0 e 10°C.	E
F	T média do mês mais quente < 0°C.	E
M	P abundante (inverno pouco rigoroso)	E

*Adaptação da classificação de Köppen (1931).

Tabela 4 - Caracterização do indicador de subtipo climático.

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

k: seco e frio

T média anual do ar < 18°C; deserto ou semideserto frio (T
anual média do ar igual ou inferior a 18°C)

B

*Adaptação da classificação de Köppen (1931).

b) Classificação segundo Thornthwaite

As chaves da classificação climática pelo método de Thornthwaite são estabelecidas com base nos índices de umidade pela Tabela 5, no índice de aridez e hídrico representados na Tabela 6, no índice térmico anual localizado na Tabela 7 e na relação entre a ETP de verão e anual, na Tabela 8.

A chave inicial é fundamentada no Índice de Umidade (Iu), cujo intervalo varia de árido (valores que chegam até -100) a superúmido (valores que ultrapassam 100) e expressa a relação entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial. Esta chave classifica os climas em cinco categorias principais, sendo elas Superúmido, Úmido, Subúmido, Semiárido e Árido, conforme mostra tabela abaixo.

Tabela 5 - Chave primária com Tipos Climáticos baseado no Índice de Umidade (Iu)

Tipos climáticos	Índice de umidade (Iu)
A – superúmido	$100 \leq Iu$
B4 – úmido	$80 \leq Iu < 100$
B3 – úmido	$60 \leq Iu < 80$
B2 – úmido	$40 \leq Iu < 60$
B1 – úmido	$20 \leq Iu < 40$
C2 – subúmido	$0 \leq Iu < 20$
C1 – subúmido seco	$-33,33 \leq Iu < 0$
D – semiárido	$-66,7 \leq Iu < -33,3$
E – árido	$-100 \leq Iu < -66,7$

Fonte: Ometto (1981).

A chave secundária (Tabela 6) aprofunda a análise, incorporando os índices de Aridez (Ia) e Umidade (Iu). O índice de aridez, variando de 0 até valores maiores que 33,3, indica o nível de deficiência hídrica, enquanto o índice de umidade, mencionado

anteriormente na chave inicial, expressa a relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial.

Tabela 6 - Chave secundária com Subtipos Climáticos baseados no Índice de Aridez (Ia) e Índice Hídrico (Ih).

Climas úmidos (A, B4, B3, B2, B1 e C2)	(Ia)	Climas secos (C1, D e E)	(Iu)
r – pequena ou nenhuma deficiência hídrica	0 - 16,7	D – pequeno ou nenhum excesso hídrico	0 - 10
s – moderada deficiência no verão	16,7 - 33,3	s – moderado excesso no inverno	10 - 20
w – moderada deficiência no inverno	16,7 - 33,3	w – moderado excesso no verão	10 - 20
s2 – grande deficiência no inverno	> 33,3	s2 – grande excesso no inverno	20,0
w2 – grande deficiência no inverno	> 33,3	w2 – grande excesso no verão	20,0

Fonte: Ometto (1981).

A chave terciária, apresentada na Tabela 7, incorpora o Índice Térmico Anual (I), variando de valores menores que 142 e acima de 1140, que classificam os climas com base na temperatura.

Tabela 7 - Chave terciária da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados no índice térmico anual.

Tipos climáticos	Índice térmico (It) (ETP anual)
A' – megatérmico	≥ 1140
B'4 – mesotérmico	997 – 1140
B'3 – mesotérmico	855 – 997
B'2 – mesotérmico	712 – 855
B'1 – mesotérmico	570 – 712
C'2 – microtérmico	427 – 570
C'1 – microtérmico	285 – 427
D' – tundra	142 – 285

E' – gelo perpétuo

< 142

Fonte: Ometto (1981).

Por fim, temos a Quarta chave da classificação climática (Tabela 8), onde essa chave complementa a classificação fornecendo informações sobre a concentração da evapotranspiração no verão, variando entre valores abaixo de 48% à acima de 88%.

Tabela 8 - Quarta chave da classificação climática segundo Thornthwaite, baseados na relação entre a ETP de verão e anual.

Concentração da ETP no verão (%)	Sub-tipo climático
< 48%	a'
48 – 51,9	b'4
51,9 – 56,3	b'3
56,3 – 61,6	b'2
61,6 – 68,0	b'1
68,0 – 76,3	c'2
76,3 – 88,0	c'1
> 88,0	d'

Fonte: Ometto (1981).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção é reservada para a exposição e discussão dos resultados obtidos, com foco na análise da variação do balanço hídrico climatológico no estado do Ceará. Apresentam-se também nos resultados e discussões, as médias históricas, o cálculo da evapotranspiração potencial das estações em análise e a classificação climática do estado.

4.1 Médias históricas

a) Temperaturas máximas e mínimas

É possível observar na Tabela 9, que durante os meses de outubro e novembro, as temperaturas máximas atingem seus valores mais elevados, variando entre valores de 27,0°C a 36,5°C, para Guaramiranga e Sobral, respectivamente. Já para os meses de abril e maio, as temperaturas máximas alcançaram seus valores mais baixos, variando de 24,2°C a 32,4°C, para Guaramiranga e Morada Nova, respectivamente.

Tabela 9 - Temperaturas máximas mensais e anuais (em °C).

Meses	Temperaturas máximas mensais (°C)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	31,8	31,4	30,9	30,9	31,3	31,5	31,5	32,3	32,4	32,6	32,6	32,6	31,8
Sobral	34,1	32,7	31,8	31,4	31,7	32,4	33,5	35,1	36,1	36,5	36,2	35,7	33,9
Fortaleza	30,8	30,5	30,1	30,1	30,3	30,1	30,3	30,7	31,0	31,2	31,3	31,5	30,7
Guaramiranga	26,0	25,4	24,8	24,5	24,2	23,7	24,1	25,5	26,6	27,1	27,0	26,8	25,5
Jaguaruana	33,9	33,3	32,3	31,9	31,9	31,9	32,5	33,9	34,7	34,9	34,8	34,5	33,4
Crateús	33,5	32,4	31,6	31,0	31,5	31,8	32,7	34,0	35,1	35,7	35,5	34,9	33,3
Quixeramobim	33,8	32,9	32,1	31,5	31,2	31,1	31,9	33,4	34,6	35,2	35,2	34,8	33,1
Morada Nova	34,8	33,9	32,9	32,4	32,2	32,2	33,0	34,3	35,5	36,0	35,9	35,6	34,1
Tauá	32,8	32,0	31,3	30,8	30,9	31,1	31,9	33,0	34,1	34,7	34,5	34,0	32,6
Iguatu	33,5	32,4	31,7	31,3	31,2	31,3	32,0	33,6	34,8	35,5	35,4	34,9	33,1
Campos Sales	31,5	30,5	29,9	29,7	29,8	29,7	30,7	31,4	32,9	33,6	33,3	32,7	31,3
Barbalha	32,5	31,5	30,9	30,7	30,7	30,4	30,8	32,4	33,9	34,8	34,5	33,9	32,3

Fonte: Autor (2024).

Segundo a Tabela 10, as temperaturas mínimas tendem a atingir valores mais elevados entre os meses de dezembro e janeiro, no intervalo de 18,5°C e 24,8°C, para Guaramiranga e Fortaleza, respectivamente. As temperaturas mínimas diminuem entre os

meses de julho e agosto, variando de 16,9°C a 22,8°C, também para Guaramiranga e Fortaleza, respectivamente.

Tabela 10 - Temperaturas mínimas mensais e anuais (em °C).

Meses	Temperaturas mínimas mensais (°C)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	23,3	23,2	23,1	23,0	22,7	22,1	21,7	21,9	22,6	23,0	23,2	23,4	22,8
Sobral	23,1	22,7	22,6	22,5	22,0	21,3	20,9	21,2	22,0	22,6	22,8	23,1	22,2
Fortaleza	24,5	24,2	23,9	23,8	23,6	23,0	22,6	22,8	23,5	24,2	24,6	24,8	23,8
Guaramiranga	18,7	18,7	18,8	18,8	18,5	17,8	17,1	16,9	17,3	17,7	18,2	18,5	18,1
Jaguaruana	23,6	23,4	23,5	23,4	23,1	22,2	21,5	21,3	21,9	22,6	23,2	23,5	22,8
Crateús	22,9	22,3	22,2	22,0	21,4	20,6	20,4	21,1	22,3	23,1	23,1	23,2	22,0
Quixeramobim	23,5	23,2	22,9	22,8	22,3	21,6	21,2	21,5	22,3	22,9	23,3	23,6	22,6
Morada Nova	23,3	23,1	23,2	23,0	22,6	21,7	21,3	21,0	21,6	22,3	22,7	23,1	22,4
Tauá	23,0	22,7	22,3	22,1	21,7	20,6	20,4	20,8	22,0	22,6	22,9	23,2	22,0
Iguatu	23,2	22,8	22,7	22,6	21,9	20,9	20,6	21,0	21,9	22,7	23,2	23,4	22,2
Campos Sales	20,7	20,4	20,2	20,0	19,6	18,8	18,5	18,7	19,7	20,6	21,1	21,1	19,9
Barbalha	21,7	21,4	21,3	21,1	20,5	19,7	19,3	19,3	20,2	21,3	21,8	21,9	20,8

Fonte: Autor (2024).

b) Temperaturas médias

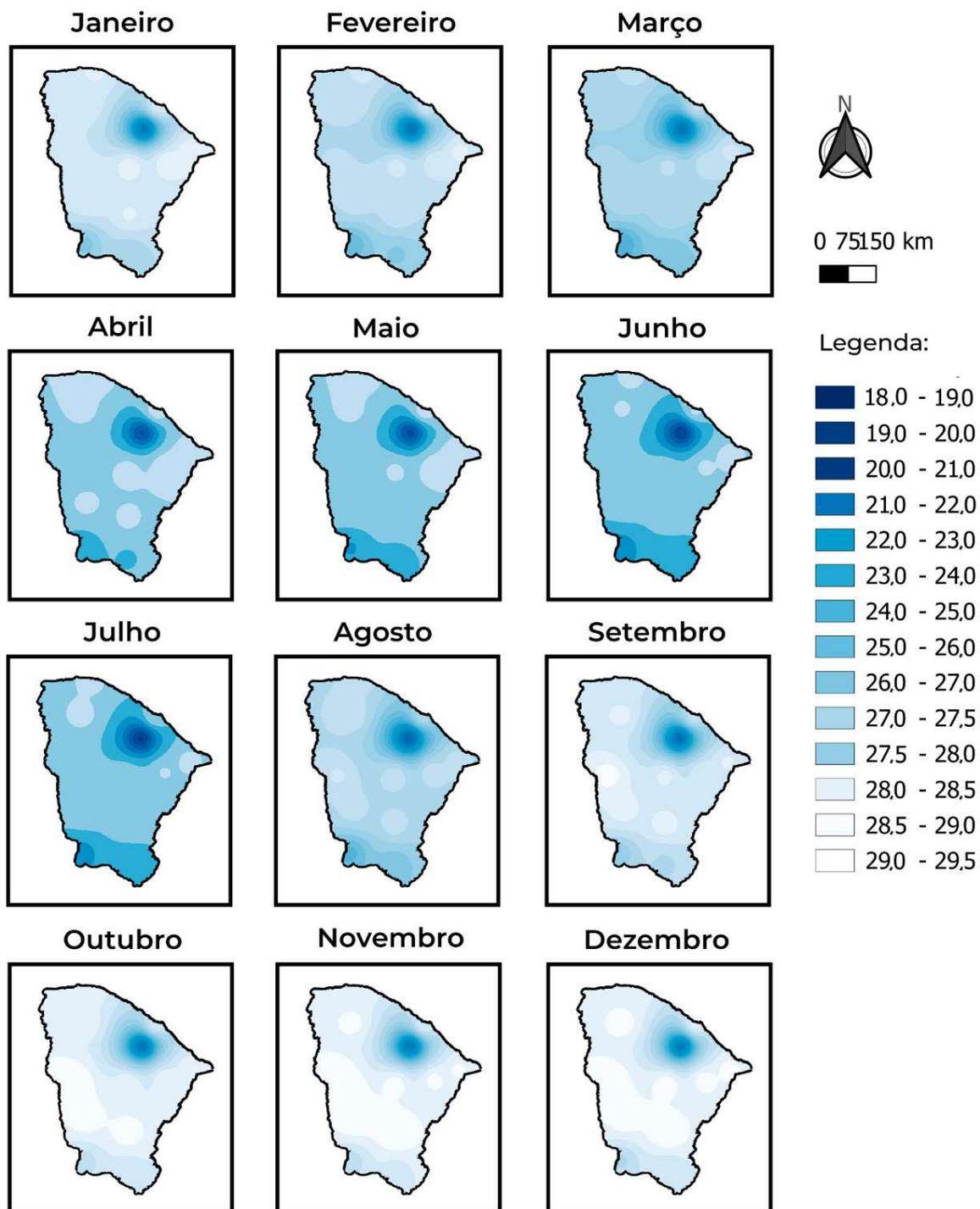
As médias históricas referentes às temperaturas médias nas estações, conforme apresenta o Tabela 11, fornecem uma visão abrangente das variações sazonais do clima em diferentes regiões. Pode-se observar que durante os meses com temperaturas mais elevadas, como novembro e dezembro, as temperaturas médias tendem a aumentar, atingindo valores entre 21,2°C e 29,0°C, para Guaramiranga e Crateús, respectivamente. Já nos meses com temperaturas mais baixas, como junho e julho, as temperaturas médias diminuem, variando de 19,8°C a 26,4°C, para Guaramiranga e Jaguaruana, respectivamente. Pode-se dizer que geralmente as regiões com menores valores de altitude no estado, tendem a ter as temperaturas mais altas, já locais situados com maiores altitudes, com concentração de serras, registra as temperaturas mais baixas na região. Logo, fica observado que a temperatura varia de acordo com a latitude, longitude e altitude.

Tabela 11 - Temperaturas médias mensais e anuais (em °C).

Meses	Temperaturas médias mensais (°C)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	27,6	27,2	26,8	26,6	26,5	26,2	26,2	26,7	27,2	27,7	27,8	27,9	27,0
Sobral	27,5	26,8	26,3	26,2	26,2	26,1	26,3	27,0	27,7	28,0	28,2	28,3	27,0
Fortaleza	27,4	27,1	26,7	26,6	26,6	26,2	26,0	26,4	26,9	27,4	27,5	27,7	26,9
Guaramiranga	21,2	21,0	20,9	20,9	20,7	20,1	19,8	20,2	20,7	21,0	21,2	21,3	20,8
Jaguaruana	28,0	27,7	27,2	27,0	26,9	26,4	26,3	26,8	27,6	27,9	28,1	28,2	27,3
Crateús	27,5	26,6	26,1	25,8	25,9	25,7	26,0	27,1	28,3	29,0	29,0	28,7	27,1
Quixeramobim	27,9	27,3	26,7	26,4	26,2	25,8	25,9	26,9	27,7	28,0	28,3	28,4	27,1
Morada Nova	28,0	27,5	26,9	26,7	26,6	26,2	26,1	26,9	27,5	28,0	28,2	28,3	27,2
Tauá	27,5	27,0	26,5	26,2	26,0	25,7	25,9	26,8	27,8	28,4	28,6	28,4	27,1
Iguatu	27,6	26,9	26,4	26,2	25,9	25,5	25,6	26,8	27,8	28,4	28,8	28,7	27,0
Campos Sales	25,3	24,6	24,1	24,1	23,9	23,4	23,5	24,3	25,7	26,7	26,7	26,4	24,9
Barbalha	26,1	25,4	25,1	24,9	24,6	24,2	24,3	25,2	26,4	27,2	27,3	27,0	25,6

Fonte: Autor (2024).

Figura 4 - Caracterização climatológica da temperatura média do Estado do Ceará.



Fonte: Autor (2024).

O estado do Ceará apresentou média mensal de temperatura do ar em torno de 26,3°C, onde nos meses de junho e julho, foi apresentado as temperaturas mais baixas, de cerca de 25,1 °C, enquanto nos meses de novembro e dezembro ocorrem as temperaturas mais

elevadas do ano, atingindo cerca de 27,4 °C. Resultados semelhantes foram observados em trabalho desenvolvido por Matos (2020) para o município de Barbalha-CE.

c) Umidade relativa

Conforme Tabela 12, foi observado que setembro e outubro são os meses mais secos no decorrer do ano, neles a umidade relativa atinge valores entre 45,1% e 80,2%, em Crateús e Guaramiranga, respectivamente. Para os meses mais úmidos, como março e abril, a umidade relativa varia de 71,5% a 92,4%, para Tauá e Guaramiranga, respectivamente.

Tabela 12 - Umidade relativa do ar mensal (%).

Meses	Umidade relativa do ar mensal (%)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	79,7	82,9	87,0	87,7	85,8	83,2	80,0	75,2	74,1	74,4	75,0	75,9	80,1
Sobral	69,3	76,6	82,9	83,2	79,4	72,5	67,7	59,3	57,2	57,2	59,3	63,1	69,0
Fortaleza	77,3	80,4	83,8	84,9	82,4	80,4	77,3	72,9	71,2	71,7	72,5	74,2	77,4
Guaramiranga	85,5	88,4	91,4	92,4	91,0	89,6	87,3	81,7	79,9	80,2	81,5	82,8	86,0
Jaguaruana	70,3	73,8	78,5	79,8	76,9	74,0	70,2	65,4	63,5	64,6	66,2	67,5	70,9
Crateús	62,1	70,0	76,5	78,5	72,6	64,5	56,5	49,1	45,3	45,1	47,4	51,5	59,9
Quixeramobim	63,4	68,1	74,1	76,4	74,6	70,4	63,8	56,9	55,8	56,2	56,7	58,6	64,6
Morada Nova	69,7	74,4	81,4	82,7	80,4	76,3	69,0	65,2	63,7	63,9	64,3	65,9	71,4
Tauá	61,6	66,6	71,5	74,2	70,5	64,6	58,6	52,1	51,1	50,7	51,0	53,6	60,5
Iguatu	62,5	69,5	74,7	77,1	73,8	67,4	60,0	51,9	49,5	49,5	50,4	52,8	61,6
Campos Sales	67,3	74,0	78,6	78,5	73,5	67,8	61,9	55,9	51,9	52,0	55,0	59,6	64,7
Barbalha	68,3	74,9	78,7	78,6	75,0	69,2	63,8	56,9	53,4	54,5	56,9	60,9	65,9

Fonte: Autor (2024).

d) Evaporação

Ao longo do ano, observa-se pelo Tabela 13, uma variação significativa nos valores de evaporação, onde nos meses de setembro e outubro, a evaporação atinge valores mais elevados em todas as estações, com destaque para evaporação total anual de Crateús (3193,9 mm) e Tauá (2570,5 mm). Esses meses correspondem ao período de maior incidência solar e temperaturas mais altas, o que favorece a evaporação mais intensa da água presente no solo e em corpos d'água. Por outro lado, nos meses de março, abril e maio, os valores de

evaporação diminuem consideravelmente em todas as estações, indicando um período de menor incidência solar e temperaturas mais amenas.

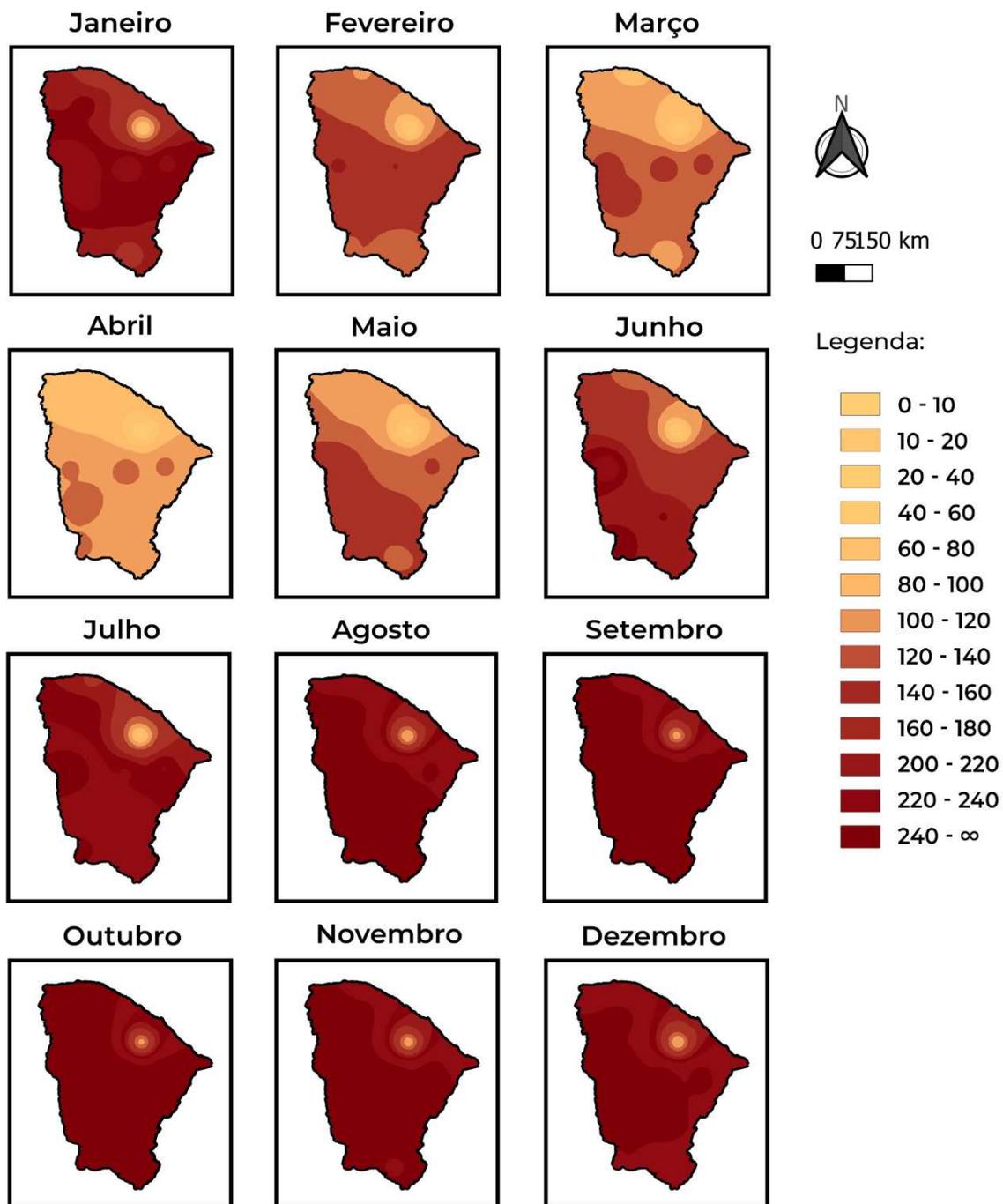
Tabela 13 - Evaporação mensal do Piche (mm).

Meses	Evaporação mensal do Piche (mm)												Total Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	145,6	97,9	73,3	59,6	81,2	109,2	156,6	210,6	225,8	245,1	224,2	201,9	1831,0
Sobral	185,2	116,3	88,6	71,4	97,0	141,4	198,4	259,3	281,0	302,0	280,8	253,7	2275,0
Fortaleza	129,8	98,7	79,6	65,5	82,6	96,6	124,3	165,0	174,4	184,0	175,6	162,3	1538,5
Guaramiranga	61,8	43,3	35,2	28,3	34,4	42,4	57,3	82,4	91,8	94,3	88,9	82,9	743,0
Jaguaruana	184,2	140,2	114,4	88,6	106,7	134,3	173,2	224,5	243,5	248,2	230,3	217,3	2105,4
Crateús	238,4	163,8	126,1	101,6	147,8	219,8	297,4	364,1	389,8	411,1	388,0	346,0	3193,9
Quixeramobim	218,1	161,2	131,4	109,4	119,2	146,2	201,8	255,8	290,1	298,7	276,9	264,4	2473,0
Morada Nova	208,3	148,7	127,1	105,9	124,5	150,7	200,6	245,8	265,3	289,7	272,7	255,7	2395,0
Tauá	206,5	153,0	132,0	108,1	131,6	174,3	220,8	271,9	289,9	316,0	293,8	272,8	2570,5
Iguatu	184,1	120,9	107,6	90,8	130,3	181,0	230,0	283,1	287,4	277,3	267,4	247,9	2407,9
Campos Sales	172,3	118,7	110,5	101,7	147,7	195,5	249,2	299,2	308,5	303,8	265,0	239,3	2511,5
Barbalha	152,2	104,1	95,1	87,2	117,8	165,4	203,5	248,6	264,0	263,5	235,6	210,1	2147,1

Fonte: Autor (2024).

A evaporação é influenciada por uma série de fatores, incluindo temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e disponibilidade de água na superfície. Seu valor total anual médio foi registrado em 2182,7 mm no estado do Ceará. Onde, no mês de abril, observou-se o menor índice de evaporação do ano, atingindo uma média mensal de 84,9 mm. Essa redução na taxa de evaporação pode ser atribuída a condições meteorológicas como temperaturas mais baixas e umidade relativa mais alta, que diminuem a capacidade do ar de absorver água na forma de vapor. Por outro lado, em outubro, a evaporação atingiu seu pico, com um valor médio de aproximadamente 269,5 mm. Nesse mês, as condições meteorológicas geralmente favorecem uma maior evaporação, com temperaturas mais altas e uma menor umidade relativa do ar, aumentando a capacidade do ar de absorver água. É possível observar isso através da Figura 4.

Figura 5 - Caracterização climatológica da evaporação do Estado do Ceará.



Fonte: Autor (2024).

e) Precipitação Total

Com base no Tabela 14, nos meses de março e abril, a precipitação atinge valores mais elevados, com destaque para Fortaleza, Acaraú e Guaramiranga, que atingiram máximas

de 362,7 mm, 308,6 mm e 289,6 mm, respectivamente. Por outro lado, nos meses de agosto e setembro, os valores de precipitação diminuem consideravelmente em todas as estações, indicando um período de estiagem. Além disso, o total anual de precipitação mostra que algumas áreas, como Fortaleza (1607,4 mm) e Guaramiranga (1641,3 mm), tendem a receber mais precipitação ao longo do ano em comparação com outras, como Tauá (617,2 mm) e Campos Sales (691,9 mm), o que pode ter implicações significativas na disponibilidade de água e na gestão de recursos naturais nessas regiões.

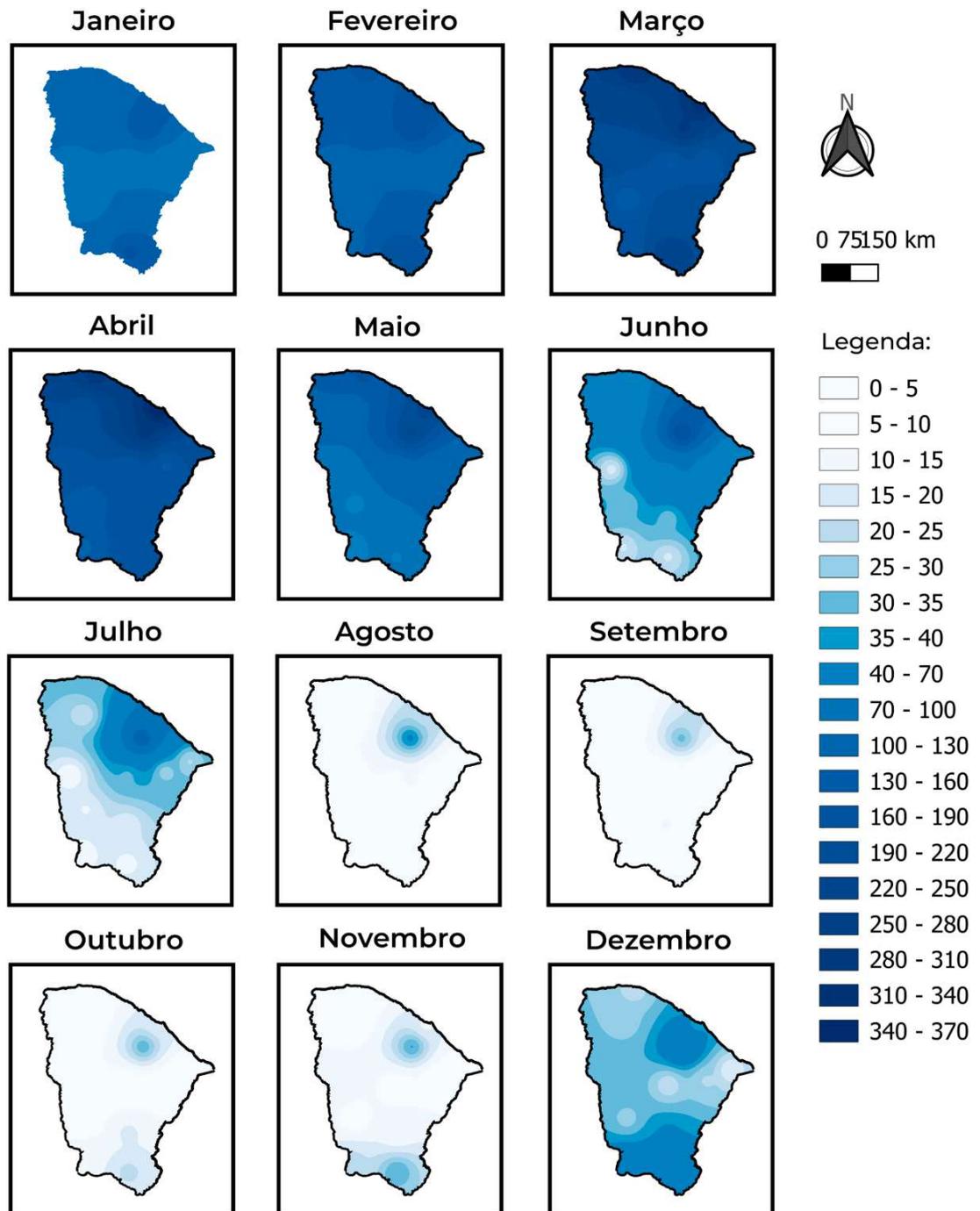
Tabela 14- Precipitação total mensal (mm).

Meses	Precipitação total mensal (mm)												Total Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	119,7	165,4	308,6	289,9	163,2	60,3	30,9	5,0	3,0	4,8	3,4	22,7	1177,0
Sobral	111,5	136,0	221,3	205,5	114,0	42,6	21,1	4,2	1,6	2,9	5,1	27,3	893,1
Fortaleza	142,5	193,3	323,6	362,7	234,3	147,2	87,6	23,7	21,6	17,2	14,4	39,2	1607,4
Guaramiranga	154,7	187,8	284,7	289,6	225,4	179,1	115,1	41,2	31,1	33,0	35,1	64,5	1641,3
Jaguaruana	78,3	111,5	204,1	193,3	111,4	44,3	24,7	4,2	2,6	3,4	1,7	15,2	794,7
Crateús	95,0	124,2	195,3	174,3	72,7	18,4	10,4	5,1	3,6	5,3	12,2	34,6	751,0
Quixeramobim	77,1	100,2	159,2	165,1	110,1	67,8	34,1	9,1	2,5	2,1	5,8	20,6	753,7
Morada Nova	82,1	110,5	161,9	155,2	103,9	59,9	27,9	6,3	2,2	3,4	3,8	24,4	741,5
Tauá	77,3	105,1	143,8	131,8	63,9	31,8	14,6	4,1	4,5	5,8	6,9	27,7	617,2
Iguatu	116,6	150,1	205,6	174,5	95,7	32,7	16,6	9,2	10,2	15,9	10,5	41,0	878,8
Campos Sales	103,2	124,1	162,6	124,7	58,4	19,5	12,0	2,2	3,5	12,7	21,9	47,1	691,9
Barbalha	165,0	185,3	240,1	174,1	68,9	19,3	13,6	4,1	6,8	21,3	34,6	69,2	1002,4

Fonte: Autor (2024).

A média da precipitação total anual foi calculada em 962,5 mm. Este valor representa a quantidade média de água que cai na forma de chuva ao longo de um ano no estado do Ceará. A distribuição da precipitação ao longo dos meses revela padrões sazonais significativos. Nos meses de março e abril, identificados como os períodos de maior precipitação, a média atinge 210 mm. Por outro lado, nos meses de agosto e setembro, a média de precipitação são notavelmente menor, chegando a aproximadamente 9 mm.

Figura 6 - Caracterização climatológica da precipitação do Estado do Ceará.



Fonte: Autor (2024).

f) Insolação Total

Observa-se pela Tabela 15, uma variação sazonal significativa nas horas de sol, com valores mais altos nos meses de agosto a setembro e valores mais baixos nos meses de fevereiro a abril. Os meses de agosto e outubro registram as maiores médias de insolação, com destaque para a estação de Iguatu, seguida por Acaraú e Morada Nova. Essa distribuição sazonal da insolação está intimamente relacionada aos padrões climáticos da região, com os meses mais quentes e secos geralmente apresentando maior exposição solar.

Tabela 15 - Insolação total mensal (mm).

Meses	Insolação total mensal (mm)												Média Anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acaraú	7,1	5,8	5,3	5,2	6,9	7,7	8,7	9,7	9,5	10,0	9,5	8,7	7,8
Sobral	6,4	5,7	5,6	5,7	6,9	7,2	8,1	9,2	8,7	9,1	8,3	7,7	7,4
Fortaleza	7,4	6,0	5,4	5,2	7,0	7,5	8,7	9,6	9,4	9,8	9,4	8,8	7,9
Guaramiranga	4,5	3,3	2,6	2,9	4,1	4,6	5,8	7,0	6,5	6,6	6,0	5,6	5,0
Jaguaruana	7,9	6,7	6,7	6,6	7,8	7,7	8,4	9,5	9,5	10,1	9,5	9,0	8,3
Crateús	6,1	5,7	5,8	5,8	6,9	7,4	8,3	9,2	9,0	9,0	8,0	7,3	7,4
Quixeramobim	7,3	6,4	6,6	6,4	7,4	7,5	8,3	9,4	9,2	9,5	8,8	8,2	7,9
Morada Nova	7,9	6,9	7,1	7,1	8,0	8,0	8,7	9,8	9,6	10,0	9,5	8,9	8,5
Tauá	6,3	5,5	5,7	5,8	6,9	7,5	8,3	9,3	9,0	9,0	8,1	7,4	7,4
Iguatu	7,4	6,5	7,0	7,2	8,1	8,3	8,9	9,8	9,6	9,8	9,0	8,4	8,3
Campos Sales	6,6	5,5	5,9	6,4	7,6	7,9	8,6	9,5	9,0	9,0	8,2	7,6	7,6
Barbalha	7,3	6,4	6,9	7,1	7,7	7,8	8,3	9,5	9,3	9,5	8,7	8,1	8,0

Fonte: Autor (2024).

g) Vento

Segundo a Tabela 16, é possível observar uma variação sazonal significativa nas velocidades do vento, com valores mais altos nos meses de março e abril, no intervalo de 1,9 m/s e 5,6 m/s, para Barbalha e Acaraú, respectivamente. As velocidades do vento mínimas diminuem entre março e abril, variando de 1,1 m/s a 3,3 m/s, para Barbalha e Campos Sales, respectivamente.

Tabela 16 - Velocidade média mensal do vento (m/s).

Meses	Velocidade do vento (m/s)	Média
-------	---------------------------	-------

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Acaraú	4,0	3,4	2,8	2,6	3,0	3,6	4,2	5,1	5,6	5,5	5,3	5,0	4,2
Sobral	2,1	1,8	1,5	1,3	1,3	1,6	1,7	2,3	2,7	2,7	2,7	2,7	2,0
Fortaleza	3,1	2,6	2,2	2,0	2,3	2,7	3,0	3,8	4,1	4,0	3,9	3,7	3,1
Guaramiranga	2,5	2,5	2,2	2,1	2,3	2,7	2,9	3,1	3,2	3,2	3,0	2,9	2,7
Jaguaruana	3,7	3,1	2,4	2,1	2,2	2,6	3,0	3,7	4,5	4,7	4,7	4,3	3,4
Crateús	2,8	2,5	2,2	1,9	2,3	2,8	3,1	3,4	3,5	3,5	3,5	3,3	2,9
Quixeramobim	3,6	3,0	2,5	2,1	2,1	2,5	2,8	3,6	4,4	4,6	4,5	4,3	3,3
Morada Nova	3,1	2,6	2,1	1,9	2,1	2,5	2,8	3,3	3,5	3,6	3,7	3,5	2,9
Tauá	2,7	2,5	2,3	2,1	2,3	2,8	3,0	3,2	3,3	3,2	3,2	3,1	2,8
Iguatu	2,6	2,3	2,0	1,9	2,2	2,8	3,1	3,4	3,4	3,3	3,4	3,2	2,8
Campos Sales	4,1	3,7	3,3	3,3	3,8	4,7	5,0	5,6	5,5	5,2	4,9	4,8	4,5
Barbalha	1,4	1,2	1,1	1,1	1,3	1,7	2,0	2,2	2,2	1,9	1,7	1,6	1,6

Fonte: Autor (2024).

4.2 Evapotranspiração potencial

A Tabela 17 apresenta a comparação dos resultados obtidos da evapotranspiração potencial usando os métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith. Existem variações significativas nas estimativas mensais e anuais para diferentes localidades. Podendo destacar que para a maioria das estações situadas na região sul do estado, apresentam resultados maiores para o método de Penman-Monteith e, na região norte, para Thornthwaite, com destaque para Campos Sales que apresentou em todos os meses do ano valores superiores no método de Penman-Monteith. Ressalta-se ainda que com exceção de Sobral, todas as demais estações apresentaram valores de Penman-Monteith maiores durante os meses de julho a novembro.

Vale ressaltar que método de Penman-Monteith gera estimativas de evapotranspiração potencial mensal maiores do que aquelas obtidas pelo método de Thornthwaite em sua maioria, confirmando assim essa tendência já observada em outros estudos comparativos como o de Portela (2019).

Tabela 17 - Maiores valores encontrados de Evapotranspiração potencial por método (mm)

Estação	Evapotranspiração potencial (mm)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Acaraú	T	T	T	T	T	T	PM	PM	PM	PM	PM	T
Sobral	T	T	T	T	T	T	T	PM	PM	PM	T	T

Fortaleza	T	T	T	T	T	T	PM	PM	PM	PM	PM	T
Guaramiranga	PM	PM	T	T	PM							
Jaguaruana	T	T	T	T	T	T	PM	PM	PM	PM	PM	PM
Crateús	T	T	PM	T	PM	T						
Quixeramobim	T	T	T	T	T	PM						
Morada Nova	T	T	T	T	T	T	PM	PM	PM	PM	PM	T
Tauá	T	T	T	T	PM	T						
Iguatu	T	T	PM	T								
Campos Sales	PM											
Barbalha	PM	T										

Fonte: Autor (2024).

Tabela 18 - Legenda dos métodos da tabela anterior.

Método	Simbologia
Thornthwaite	T
Penman-Monteith	PM

Fonte: Autor (2024).

A Tabela 19 apresenta a comparação dos resultados obtidos da evapotranspiração potencial usando os métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith. Fortaleza mostrou variações mensais mais altas, especialmente em março (17,9%) e abril (22,0%), com a ETP anual total de 1703,3 mm pelo método de Thornthwaite e 1653,6 mm pelo método Penman-Monteith, resultando em uma variação média anual de 3,0%. Guaramiranga, conhecida por seu clima mais ameno, teve uma variação média anual de 14,4%, com a ETP total anual de 944,3 mm pelo método de Thornthwaite e 1103,4 mm pelo método Penman-Monteith.

Morada Nova apresentou variações mensais que foram menores, variando de 0,1% a 10,4%, com uma ETP anual total de 1793,0 mm pelo método de Thornthwaite e 1791,5 mm pelo método Penman-Monteith, resultando em uma variação média anual de 0,1%. Campos Sales destacou-se com as maiores variações, especialmente nos meses de julho (37,4%) e agosto (41,1%), apresentando uma variação média anual de 27,4%, com a ETP anual total de 1360,4 mm pelo método de Thornthwaite e 1874,8 mm pelo método Penman-Monteith.

Nota-se que apesar de o método de Thornthwaite utilizar menos parâmetros em comparação ao método de Penman-Monteith, as variações médias totais anuais entre os dois

métodos são geralmente pequenas, tendo variações com mínimas de 0,1% e máximas de 41,1% a nível mensal, com isso a média geral para o período e estações analisadas ficou de 7,3%. Além disso, a variação média mensal é de 10,3%, indicando assim que Thornthwaite pode oferecer estimativas confiáveis com menor complexidade e menor necessidade de dados meteorológicos. Isso é especialmente vantajoso em regiões com recursos limitados para a coleta de dados, proporcionando uma solução eficiente e econômica para estimativas de evapotranspiração potencial.

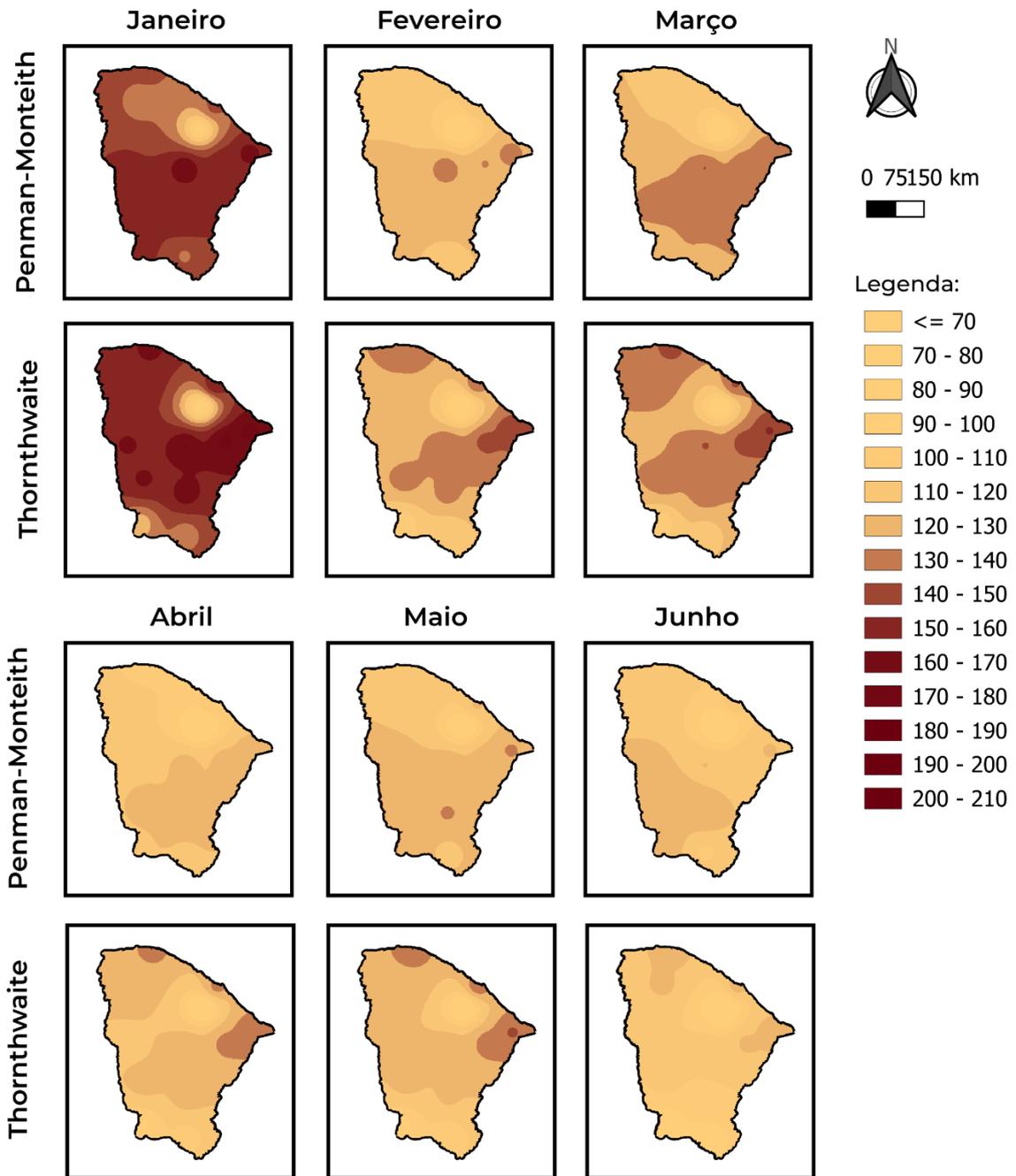
Tabela 19 - Evapotranspiração potencial método Thornthwaite e Penman-Monteith (mm)

Estação	Método	Evapotranspiração potencial (mm)												Total Anual
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Acarauá	T	161,7	137,3	142,6	133,1	134,8	124,4	128,6	139,2	145,8	162,8	160,7	168,9	1739,8
	PM	140,4	113,8	116,2	107,6	118,3	115,3	129,2	153,7	162,2	177,5	166,9	162,5	1663,5
	Variação (%)	15,2	20,7	22,7	23,7	13,9	7,9	0,5	9,4	10,1	8,3	3,7	3,9	4,6
Sobral	T	159,9	129,8	132,5	125,2	128,4	122,0	130,0	145,0	156,5	170,1	170,5	179,2	1749,1
	PM	138,0	113,4	119,2	111,6	117,6	112,2	122,8	149,8	161,3	176,7	164,9	161,3	1648,9
	Variação (%)	15,9	14,5	11,2	12,2	9,2	8,7	5,9	3,2	3,0	3,7	3,4	11,1	6,1
Fortaleza	T	157,9	135,9	141,0	133,3	136,7	124,3	124,9	133,3	139,9	156,5	154,7	165,0	1703,3
	PM	142,6	116,2	119,6	109,3	121,2	114,6	126,9	148,8	158,0	172,8	163,5	160,1	1653,6
	Variação (%)	10,7	17,0	17,9	22,0	12,8	8,5	1,6	10,4	11,5	9,4	5,4	3,1	3,0
Guaramiranga	T	85,7	75,2	81,6	78,2	78,4	70,6	70,7	74,5	76,9	83,0	82,7	86,7	944,3
	PM	95,9	78,5	80,1	76,3	81,3	75,2	83,2	100,3	105,2	114,8	107,0	105,6	1103,4
	Variação (%)	10,6	4,2	1,9	2,5	3,6	6,1	15,0	25,7	26,9	27,7	22,7	17,9	14,4
Jaguaruana	T	172,4	147,9	150,7	139,9	141,1	126,0	128,4	139,7	153,8	167,9	168,8	177,8	1814,3
	PM	162,6	132,8	137,2	124,8	131,0	120,8	132,7	158,2	176,2	193,7	182,8	179,3	1832,1
	Variação (%)	6,0	11,4	9,8	12,1	7,7	4,3	3,2	11,7	12,7	13,3	7,7	0,8	1,0
Crateús	T	160,9	126,3	128,3	117,2	121,7	113,6	123,1	146,3	170,1	195,9	191,5	190,9	1785,8
	PM	152,5	123,8	128,5	116,1	125,9	127,4	146,7	174,4	189,5	207,1	193,3	184,4	1869,8
	Variação (%)	5,5	2,0	0,2	0,9	3,3	10,8	16,1	16,1	10,2	5,4	0,9	3,5	4,5
Quixeramobim	T	170,3	140,0	140,5	128,4	127,4	115,4	121,4	142,1	156,3	170,5	173,9	183,1	1769,3
	PM	168,4	135,9	140,1	124,6	127,3	120,1	135,1	168,0	186,3	204,3	194,3	190,9	1895,4
	Variação (%)	1,1	3,0	0,3	3,0	0,1	3,9	10,1	15,4	16,1	16,5	10,5	4,1	6,7
Morada Nova	T	172,6	143,9	144,4	134,0	135,0	122,3	124,7	141,9	151,7	170,5	171,4	180,5	1793,0
	PM	159,5	130,4	135,8	124,7	127,8	118,6	132,5	156,5	166,8	185,1	178,4	175,3	1791,5
	Variação (%)	8,2	10,4	6,3	7,5	5,6	3,1	5,9	9,3	9,1	7,9	3,9	3,0	0,1
Tauá	T	161,5	134,4	136,6	124,6	123,5	113,4	121,1	139,9	158,5	180,6	181,7	183,7	1759,6
	PM	153,9	127,4	134,7	121,9	127,9	127,1	141,9	166,4	176,9	192,4	183,2	178,6	1832,5

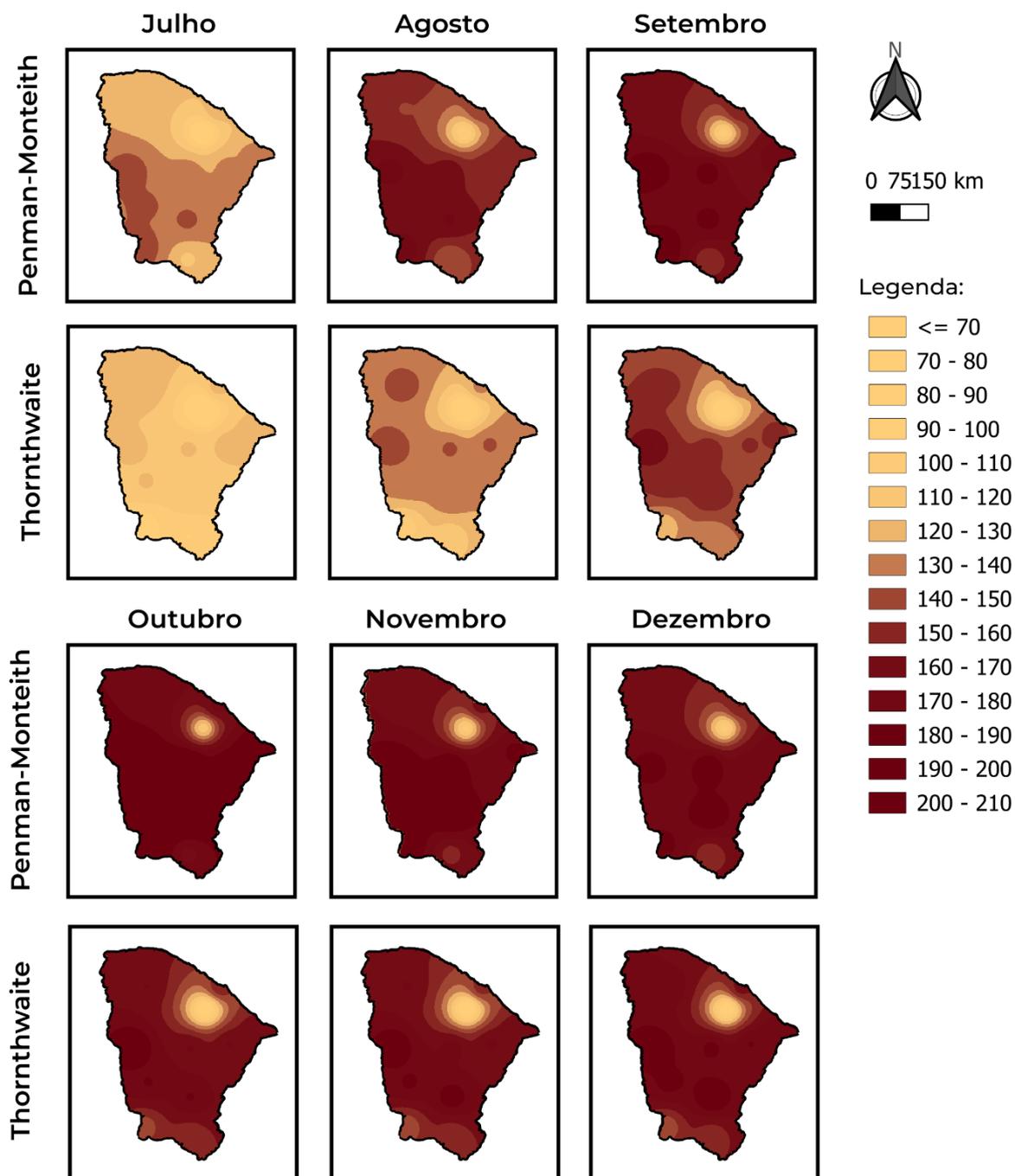
	Variação (%)	4,9	5,5	1,4	2,2	3,4	10,8	14,7	15,9	10,4	6,1	0,8	2,9	4,0
Iguatu	T	164,1	132,6	134,7	124,6	121,5	109,9	115,6	139,8	158,5	180,7	187,0	191,8	1760,6
	PM	160,0	129,5	139,0	127,7	130,9	126,9	142,3	171,2	183,2	200,1	193,5	189,2	1893,4
	Variação (%)	2,6	2,4	3,1	2,4	7,2	13,4	18,8	18,3	13,5	9,7	3,4	1,4	7,0
Campos Sales	T	124,1	101,3	103,4	98,4	97,6	87,6	92,0	103,7	122,1	145,0	142,3	142,8	1360,4
	PM	153,7	120,0	125,5	119,7	129,5	129,7	146,9	176,0	191,6	208,2	191,1	182,9	1874,8
	Variação (%)	19,3	15,6	17,6	17,8	24,6	32,5	37,4	41,1	36,3	30,4	25,5	21,9	27,4
Barbalha	T	136,1	110,6	115,8	107,2	104,7	95,0	99,9	114,6	132,3	154,1	153,2	153,4	1477,0
	PM	139,1	115,4	128,6	119,2	117,5	108,5	118,2	140,4	153,2	167,1	156,1	152,6	1615,8
	Variação (%)	2,2	4,2	10,0	10,1	10,9	12,4	15,5	18,4	13,6	7,8	1,9	0,5	8,6

Fonte: Autor (2024).

Figura 7 - Evapotranspiração potencial Penman-Monteith vs Thornthwaite (mm).



Fonte: Autor (2024).



Fonte: Autor (2024).

4.3 Balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico climatológico (BHC) revela flutuações nos valores médios mensais de diversos parâmetros, tais como precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), quantidade de água que permanece no solo (P-ETP), acumulado negativo (NEG-AC), armazenamento de água no solo ARM, evapotranspiração real (ETR), mudança no

armazenamento de água no solo (ALT), excedente hídrico (EXC) e déficit hídrico (DEF), conforme apresentado nos Anexos ao fim deste documento.

A quantidade de água disponível no solo (CAD) foi definida em 100 mm durante a realização do balanço. Como ilustrado nas figuras abaixo, março a maio abrange os meses em que há maior armazenamento de água no solo para a grande maioria das estações, com destaque para Guaramiranga que apresenta o valor elevado de água no solo de janeiro a agosto, Fortaleza que tem de março a julho e Tauá que em seu mês de maior armazenamento atinge apenas pouco mais da metade de sua capacidade, em maio. Os meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro registram armazenamento inferior aos demais. Assim, boa parte dos municípios enfrentam um período de deficiência hídrica que se estende por 9 meses. Por outro lado, entre junho e fevereiro, é observado um déficit devido às taxas menores de armazenamento de água no solo, em especial os meses de outubro e novembro, que em todas as estações se destacam como o maior déficit, fato esse que pode ser relacionado com o estudo de Barra (2002), que obteve resultados de máxima ocorrência de seca severa no estado do Ceará no mês de novembro, com cerca de 60% da área do estado.

Figura 8 – BHC para Crateús, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

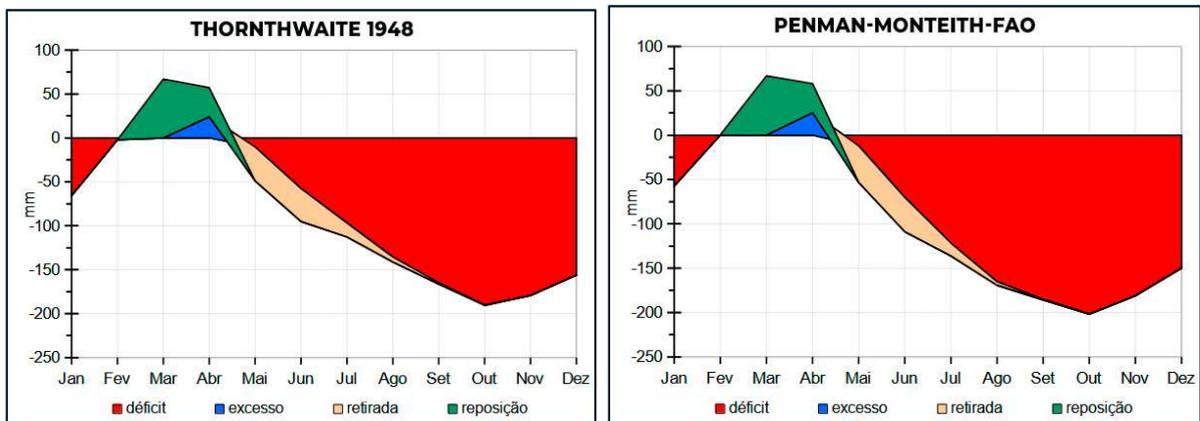


Figura 9 – BHC para Acaraú, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

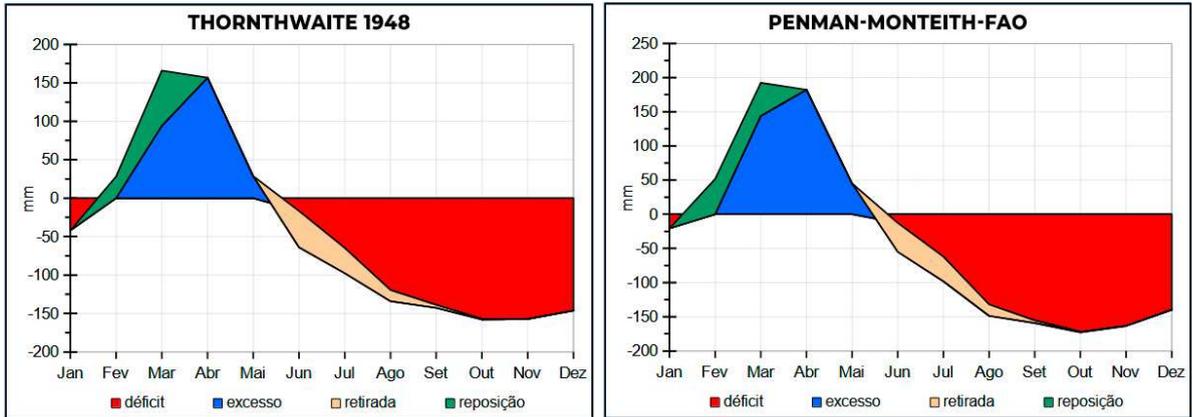


Figura 10 – BHC para Barbalha, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

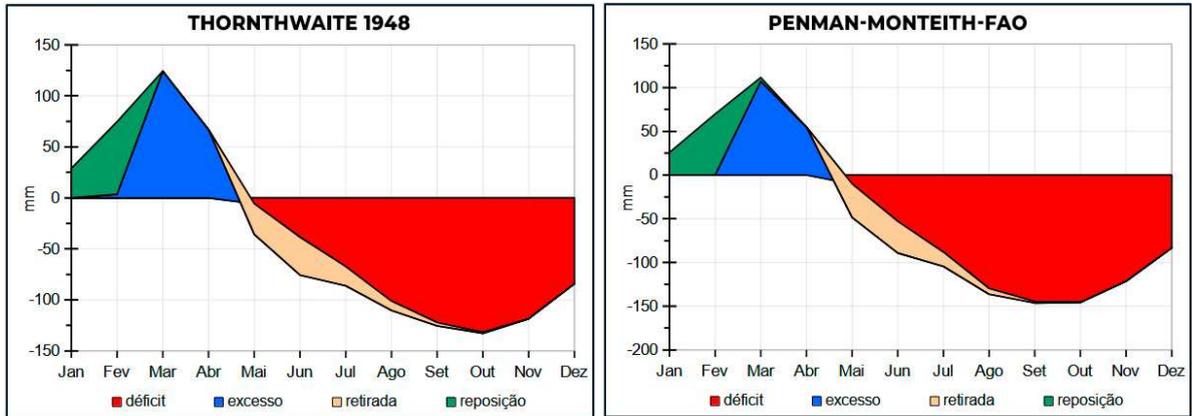


Figura 11 – BHC para Campos Sales, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

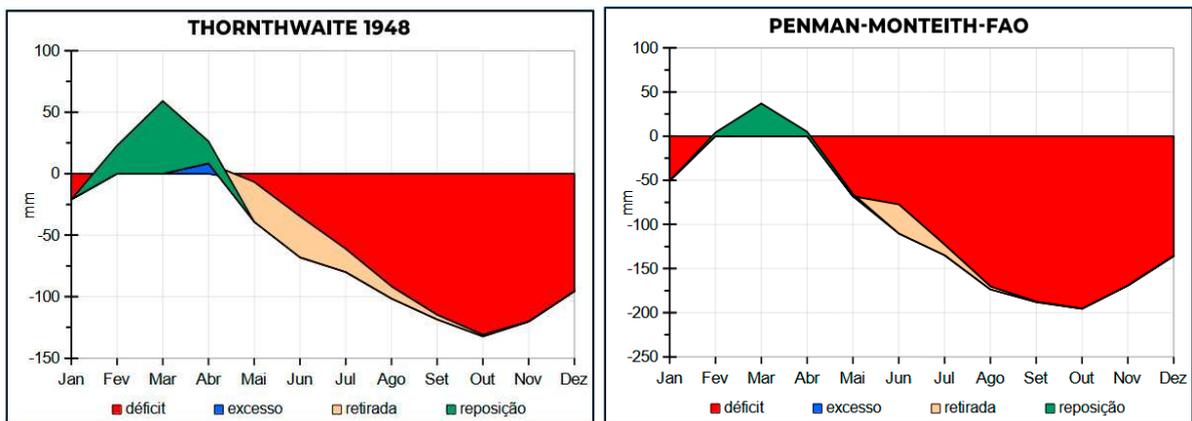


Figura 12 – BHC para Fortaleza, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

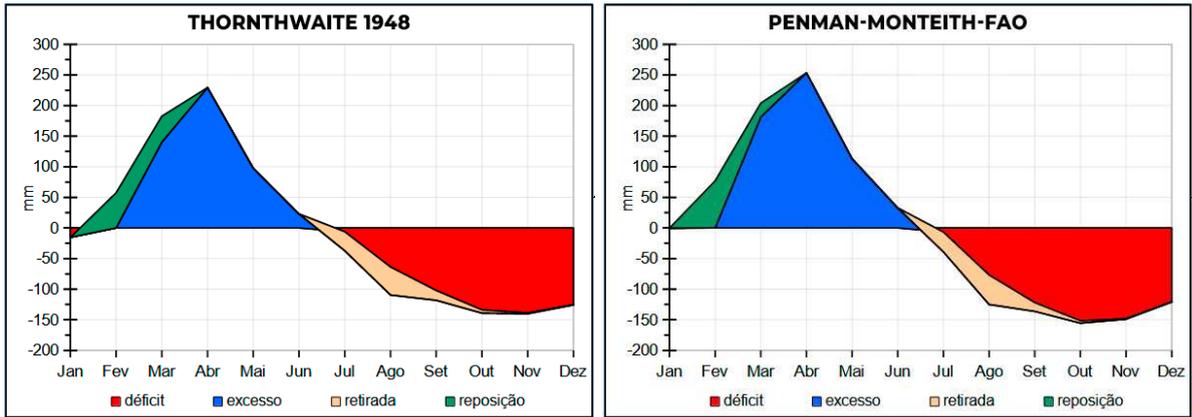


Figura 13 – BHC para Guaramiranga, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

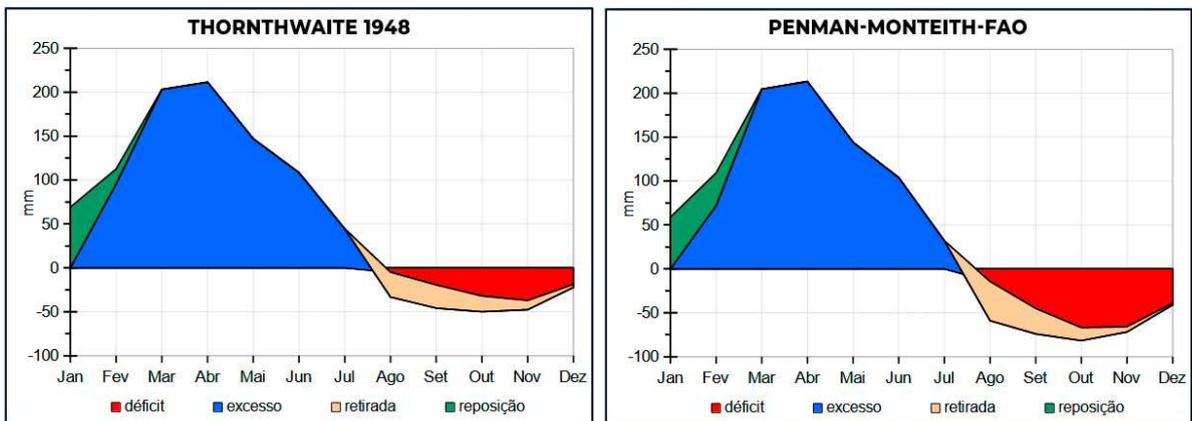


Figura 14 – BHC para Iguatu, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

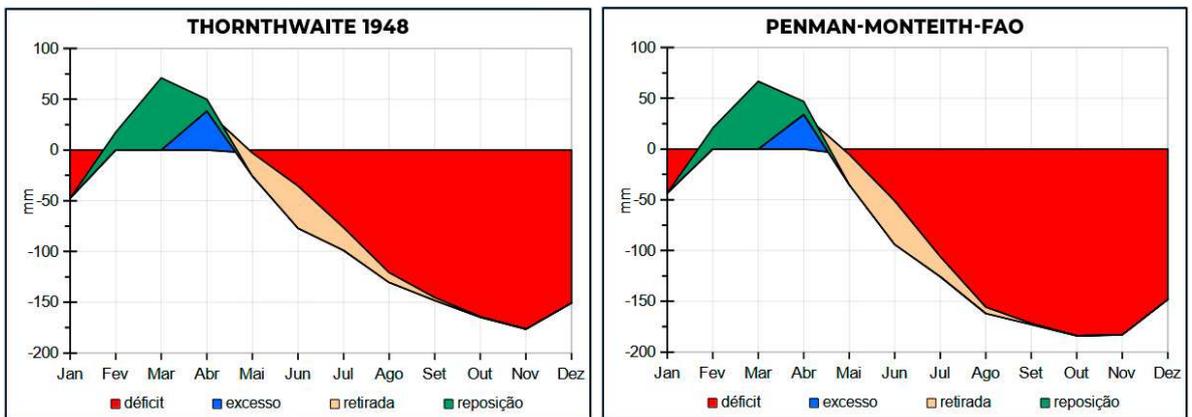


Figura 15 – BHC para Jaguaruana, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

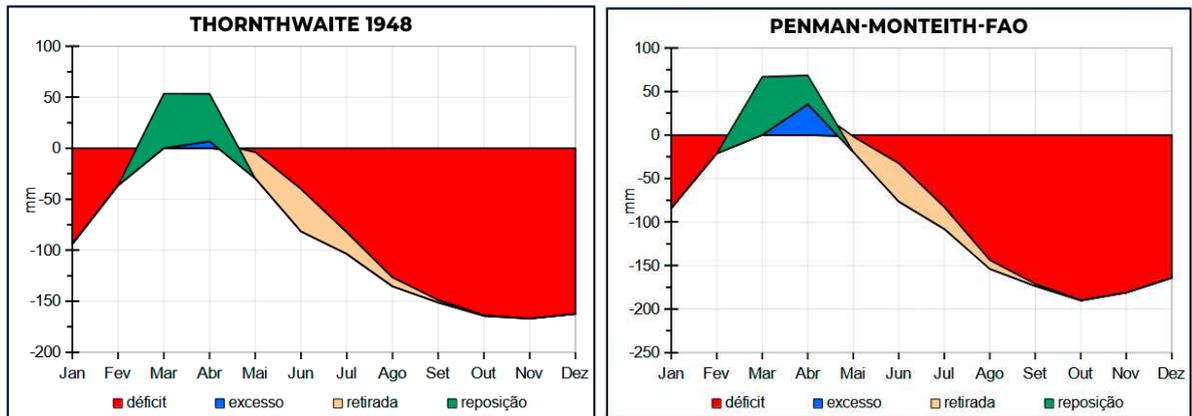


Figura 16 – BHC para Morada Nova, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

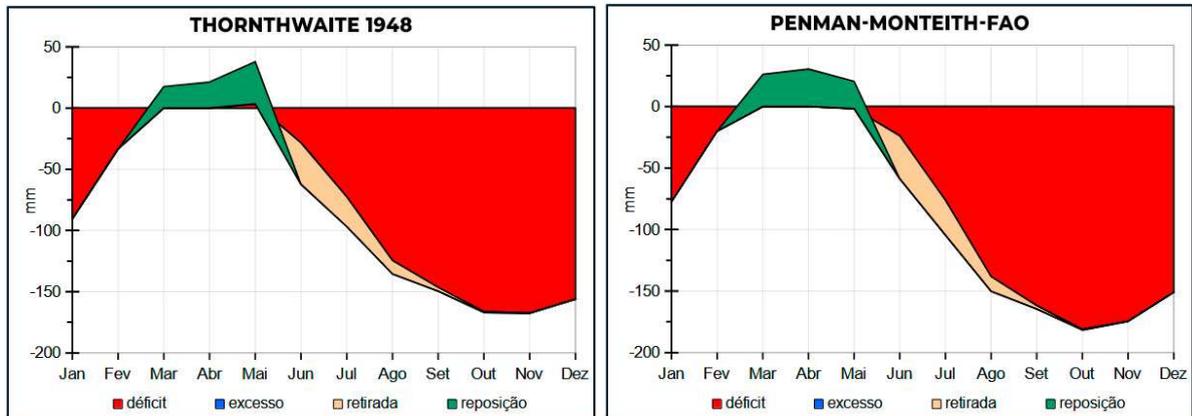


Figura 17 – BHC para Quixeramobim, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

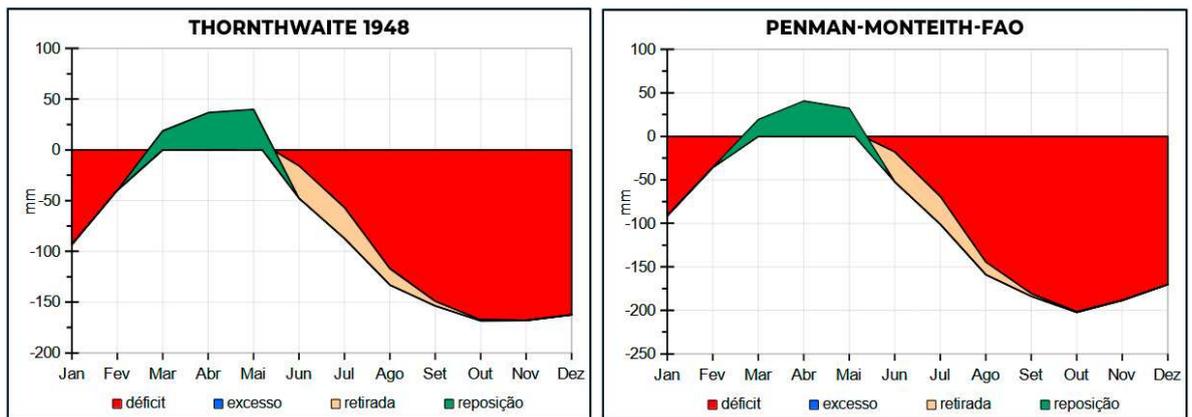


Figura 18 – BHC para Sobral, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith

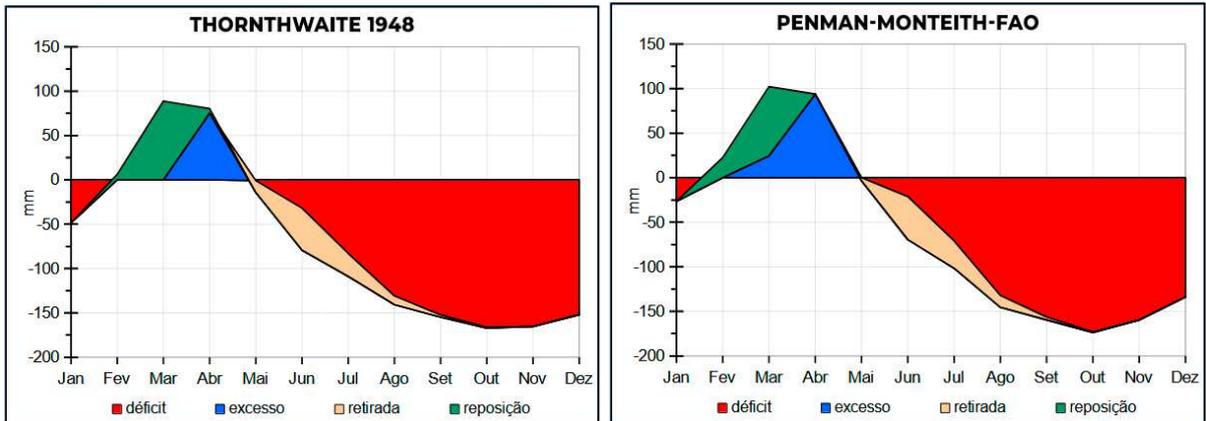
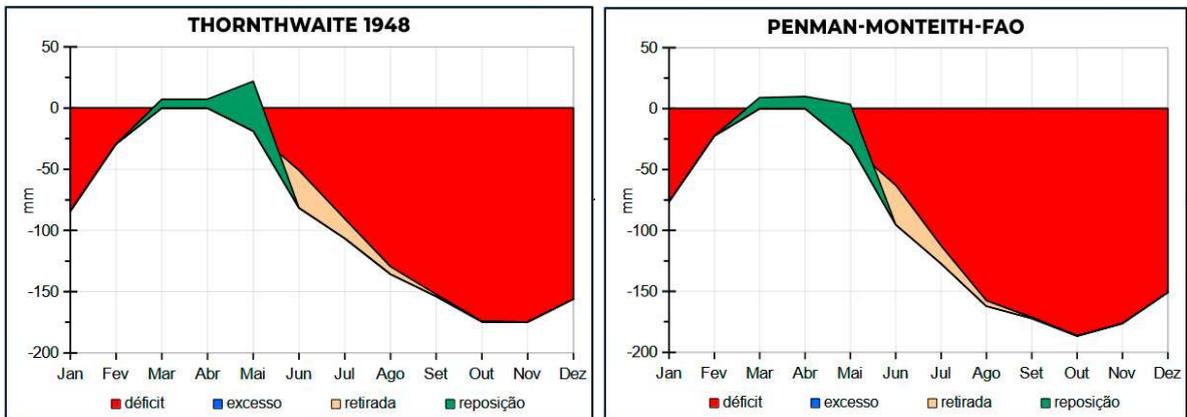


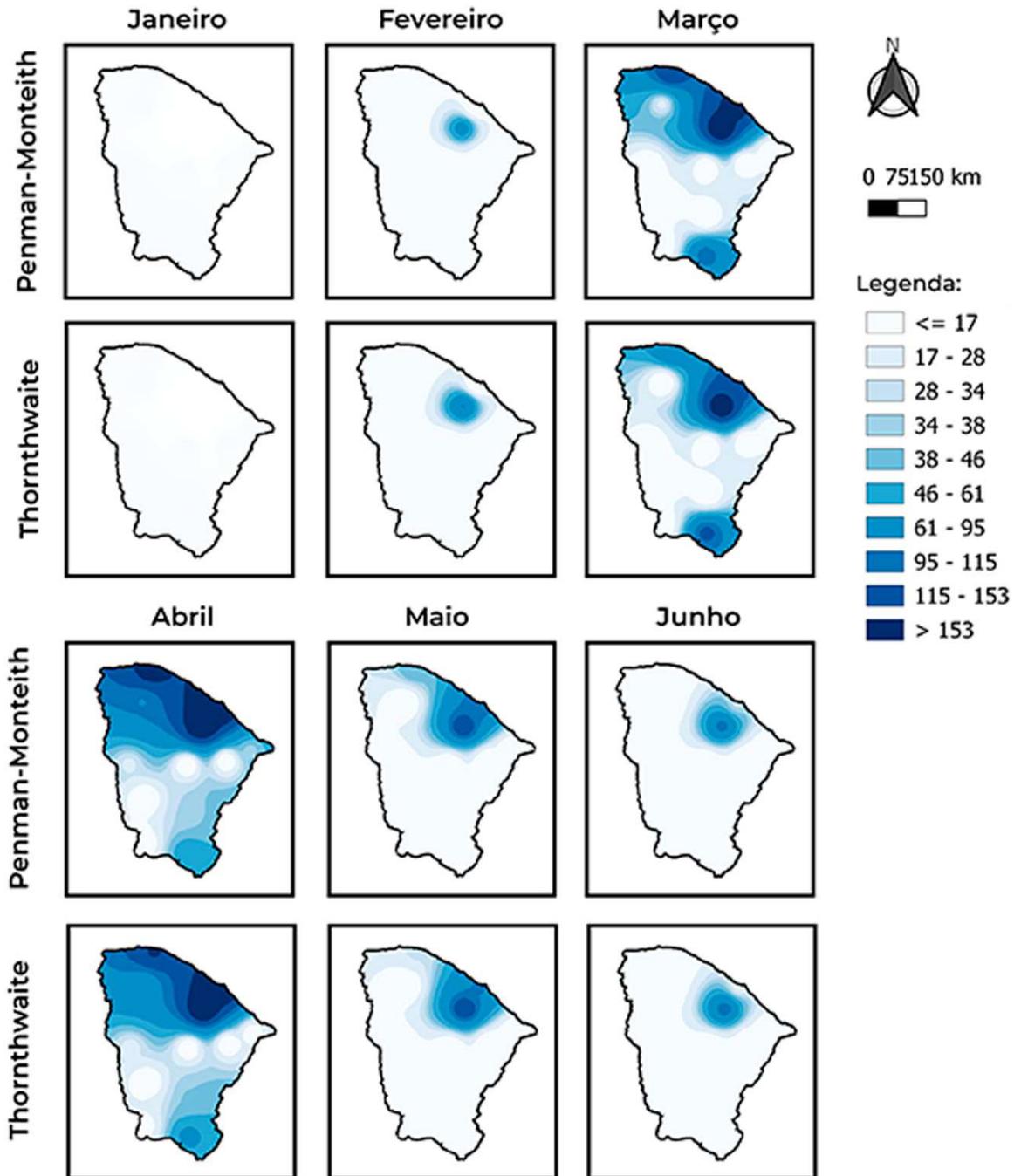
Figura 19 – BHC para Tauá, pelos métodos Thornthwaite e Penman-Monteith



Fonte: Autor (2024).

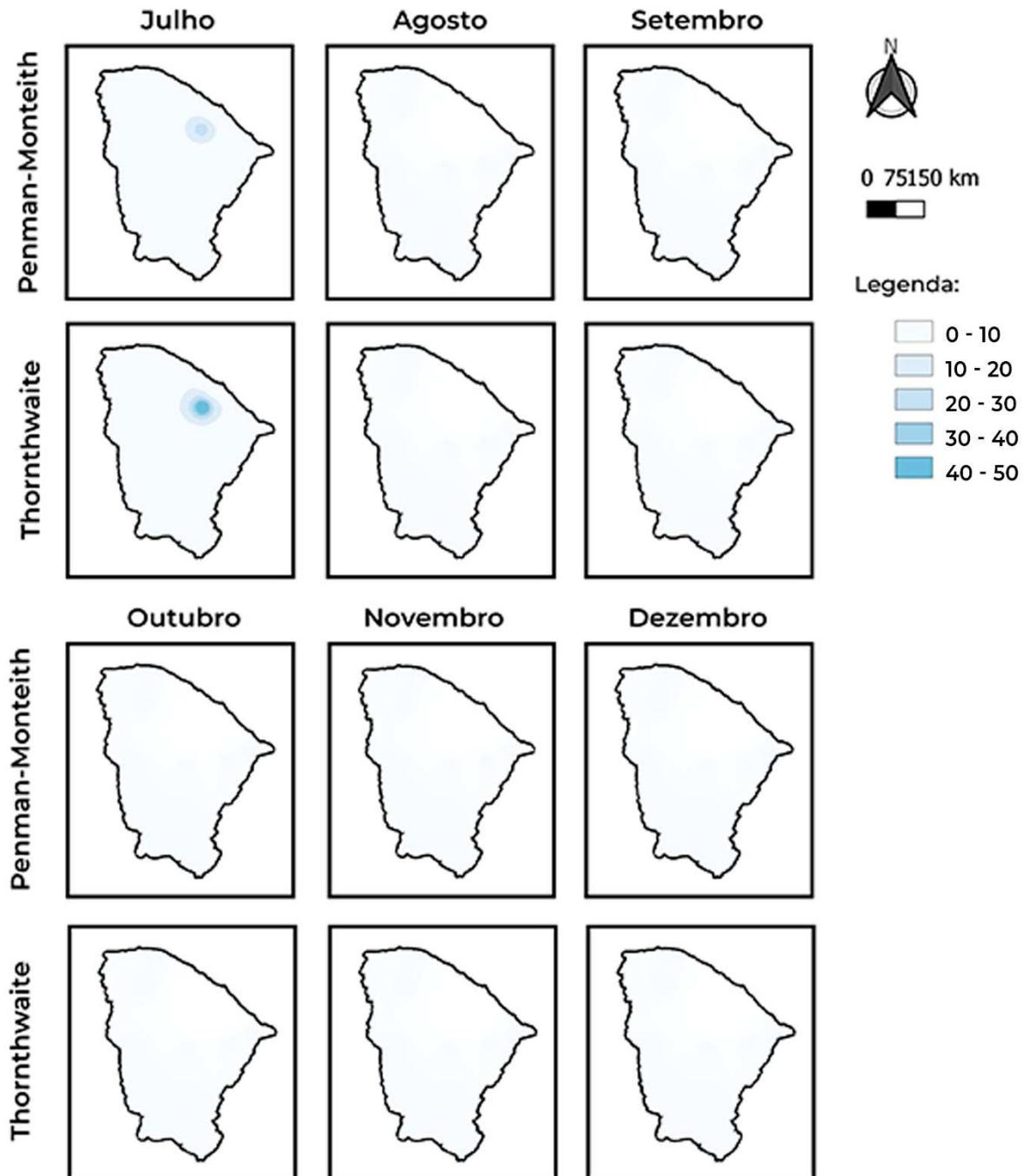
A região das estações Guaramiranga, Fortaleza, Barbalha, Crateús, Acaraú, Campos Sales, Iguatu, Jaguaruana e Sobral possui o maior excesso hídrico no mês de abril, representando o período chuvoso na região, com destaque para Guaramiranga, que apresentou o maior período de excedente, iniciando entre os meses de fevereiro até julho. As regiões com maiores déficits são observados em Tauá, com um total anual de 1060,8mm; seguida por Crateús, 1058,7mm e Jaguaruana com 1026,4mm. Ademais, algumas estações não possuem excesso hídrico utilizando o balanço hídrico climatológico como Tauá, Quixeramobim e Morada Nova. Assim, é possível observar que a reposição de água no solo começa a partir de março, estendendo-se até abril, permitindo que o solo atinja sua capacidade de armazenamento máximo.

Figura 20 - Espacialização do excedente hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano



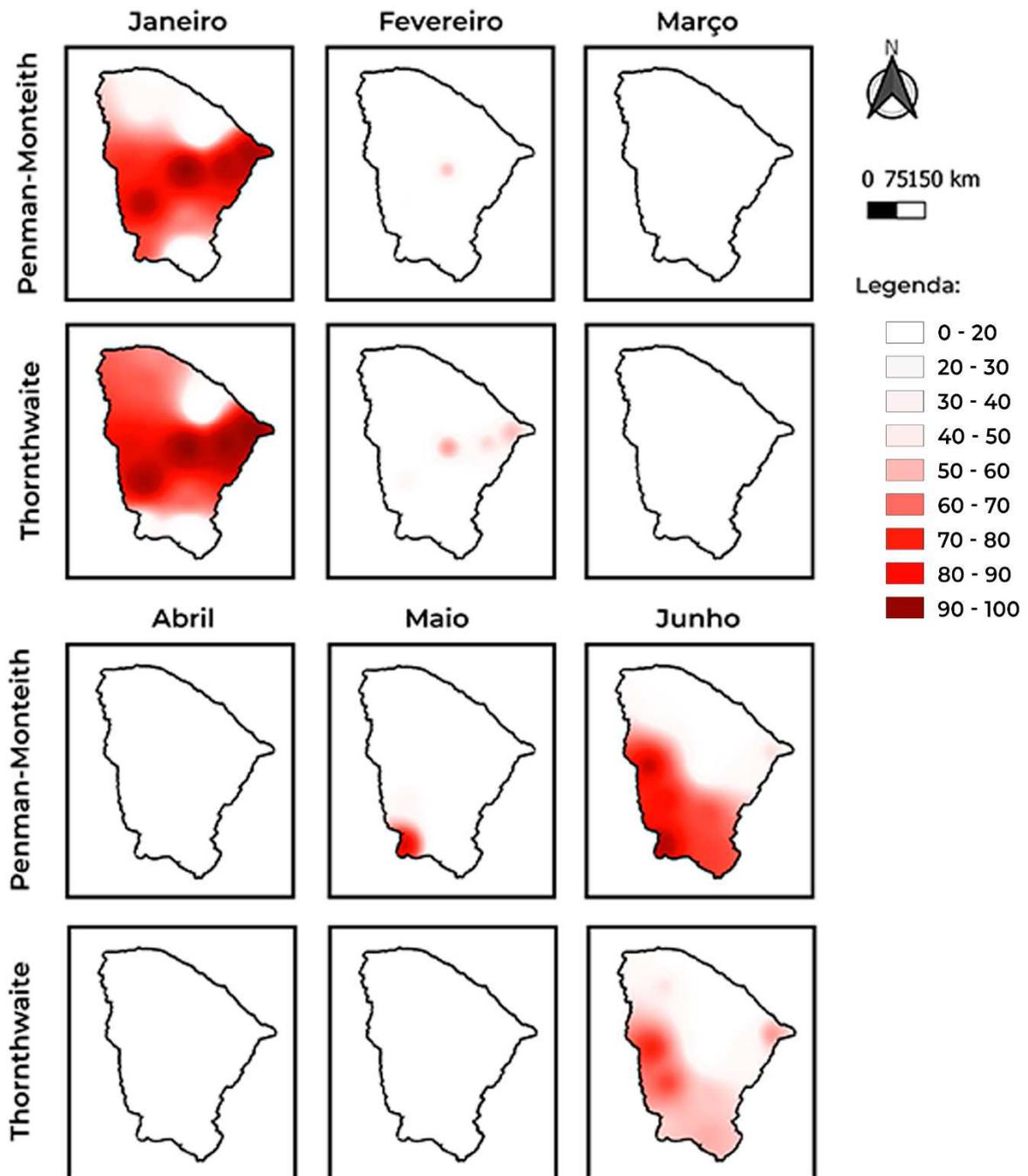
Fonte: Autor (2024).

Figura 21 - Espacialização do excedente hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano



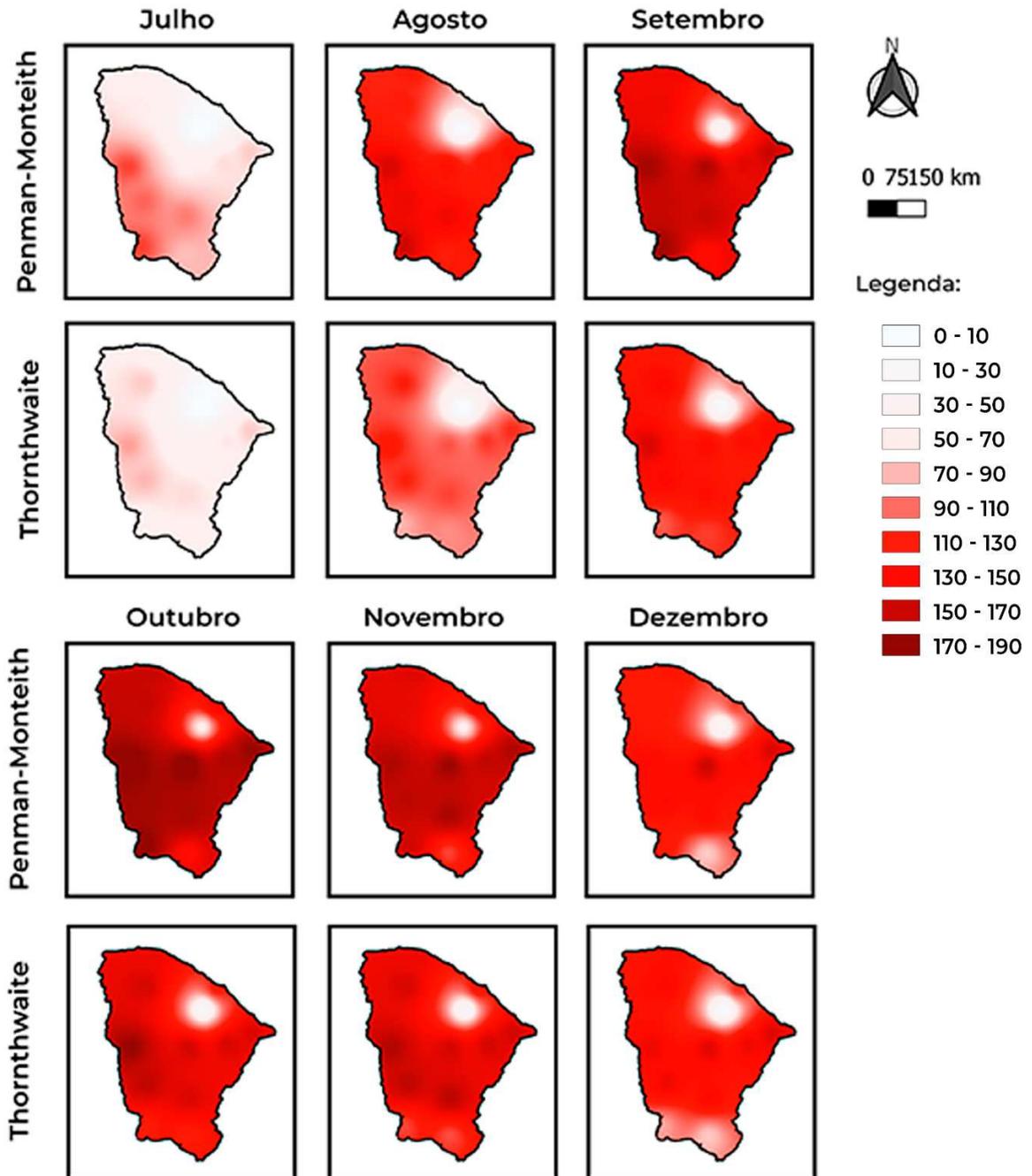
Fonte: Autor (2024).

Figura 22 - Espacialização do déficit hídrico no estado do Ceará - 1º semestre do ano



Fonte: Autor (2024).

Figura 23 - Espacialização do déficit hídrico no estado do Ceará - 2º semestre do ano



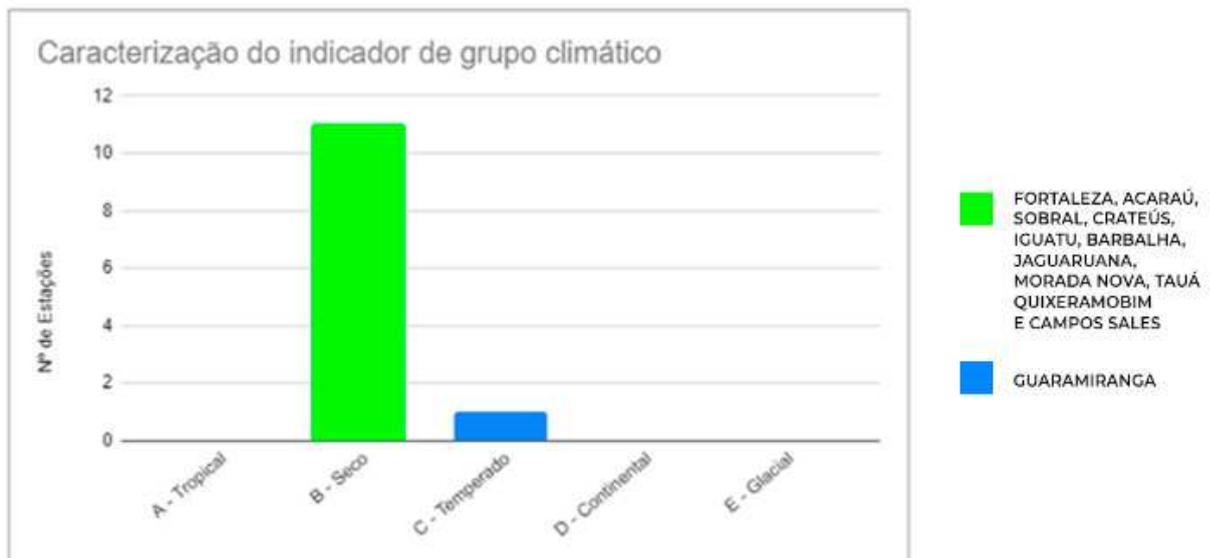
Fonte: Autor (2024).

4.4 Classificação climática

a) Classificação de Köppen

Observa-se que, segundo Gráfico 1, apenas 1 estação (Guaramiranga) se encontra no grupo C, que é considerado temperado, sendo descrito como clima mesotérmico, com Temperatura média do mês mais frio entre -3 e 18°C, Temperatura média do mês mais quente > 10°C e Verão e inverno bem definidos. Para as demais 11 estações, podem-se classificá-las dentro do grupo B, como Seco, já que a evapotranspiração potencial anual é superior a precipitação anual, alcançando valores de ETP variando entre 1360,4 a 1814,3 mm para Campos Sales e Jaguaruana, respectivamente, e precipitação variando entre 617,3 a 1607,3 mm para Tauá e Fortaleza, respectivamente.

Gráfico 1 – Caracterização do indicador de grupo climático.



Fonte: Autor (2024).

Para caracterização do indicador de tipo climático (Gráfico 2), a estação de Guaramiranga se encontra no tipo S, classificado como Chuvas de inverno. Já as outras 11 estações se classificam no tipo S, que representa o Clima semiárido.

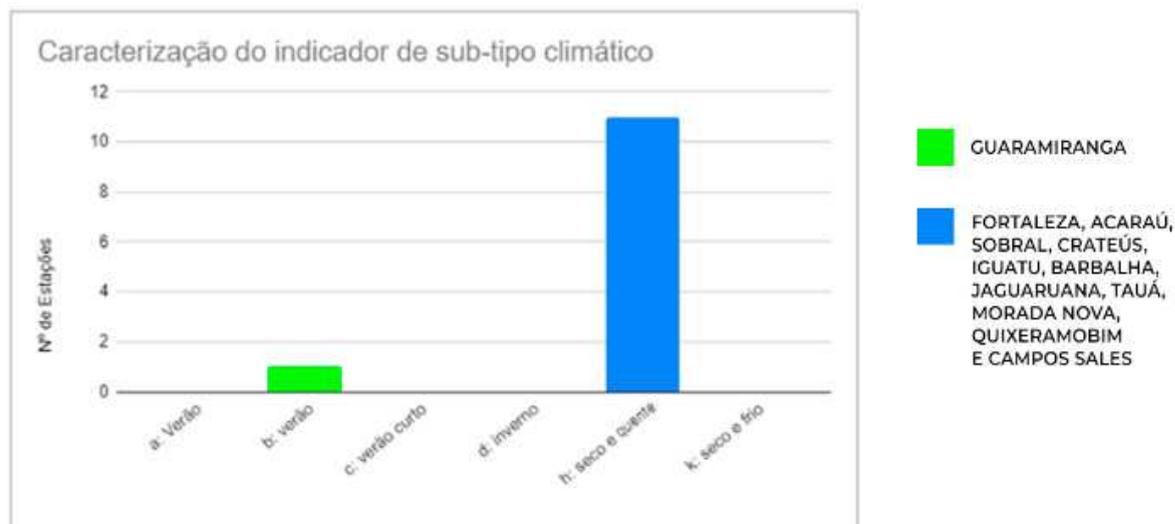
Gráfico 2 – Caracterização do indicador de tipo climático.



Fonte: Autor (2024).

Segundo o Gráfico 3, o subtipo climático da estação de Guaramiranga se classifica como b, considerado Verão temperado, já que apresenta Temperatura média do ar no mês mais quente menor que 22°C e Temperatura média do ar nos 4 meses mais quentes maiores que 10°C. Para as 11 estações restantes, se classificam como h, denominado Seco e quente, pois têm temperaturas médias anuais do ar igual ou superior a 18°C, atingindo valores que variam entre 23,4 a 29,0 °C, para Campos Sales e Crateús, respectivamente.

Gráfico 3 – Caracterização do indicador de subtipo climático.



Fonte: Autor (2024).

Sendo assim, observa-se que, para a classificação climática de Köppen, apenas a estação localizada em Guaramiranga, se classifica como Csb, denominado Temperado com chuvas de inverno e verão temperado. E 11 estações estão descritas como BSh, que se classifica como Seco, com clima semiárido seco e quente. Esse fato reforça a ideia de Moreno et al. (2016), onde afirma que na região do Cariri do Ceará, o clima predominante é quente, seco e subúmido, uma conclusão que está alinhada com os resultados obtidos neste estudo.

b) Classificação de Thornthwaite e Mather

Os resultados do índice hídrico (Ih), índice de aridez (Ia) e índice de umidade (Iu) das 12 estações ao longo do período de 1961-2020 estão apresentados na Tabela 20, tanto usando o método de Thornthwaite como Penman-Monteith para encontrar a evapotranspiração potencial.

Tabela 20: Índices hídrico (Ih), de umidade (Iu) e de aridez (Ia).

Estação	Thornthwaite			Penman-Monteith		
	Ih (%)	Iu (%)	Ia (%)	Ih (%)	Iu (%)	Ia (%)
Acaraú	16,1	-13,0	48,4	22,3	-8,6	51,6
Sobral	4,3	-27,6	53,3	7,2	-24,6	53,0
Fortaleza	28,8	8,1	34,4	35,1	12,4	37,9

Guaramiranga	85,7	78,6	11,9	69,7	57,1	21,0
Jaguaruana	0,4	-33,6	56,6	1,9	-33,2	58,6
Crateús	1,3	-34,2	59,3	1,4	-35,4	61,2
Quixeramobim	0,0	-32,5	54,2	0,0	-34,6	57,6
Morada Nova	0,0	-32,9	54,8	0,0	-33,7	56,1
Tauá	0,0	-36,2	60,3	0,0	-37,6	62,6
Iguatu	2,2	-29,2	52,3	1,8	-31,4	55,4
Campos Sales	0,6	-29,2	49,8	0,0	-37,7	62,8
Barbalha	13,2	-14,0	45,3	10,0	-18,8	48,0

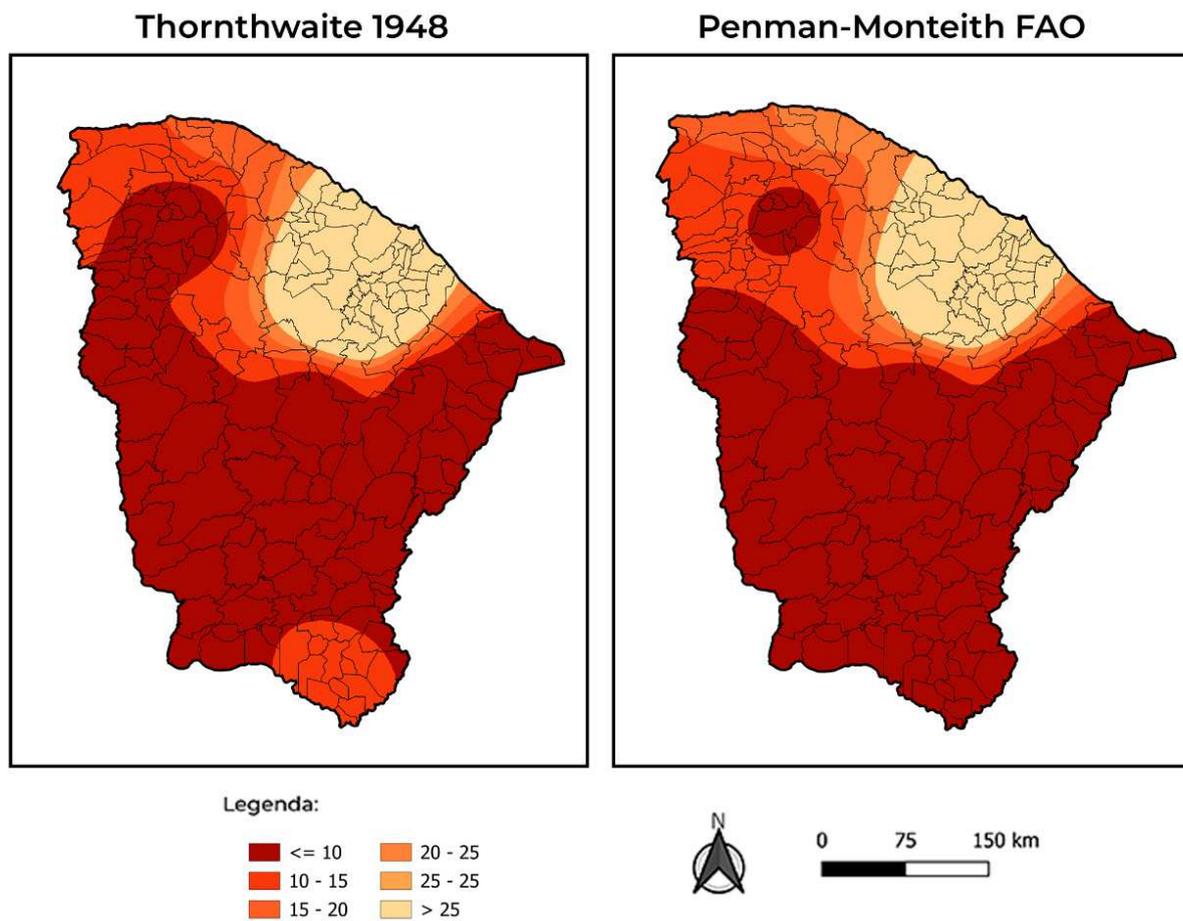
Fonte: Autor (2024).

Tabela 21 – Erro percentual relativo para método de Penman-Monteith como referencial.

Estação	Erro Percentual		
	Erro Ih (%)	Erro Iu (%)	Erro Ia (%)
Acaraú	27,8	-51,2	6,2
Sobral	40,3	-12,2	-0,6
Fortaleza	17,9	34,7	9,2
Guaramiranga	-23,0	-37,7	43,3
Jaguaruana	78,9	-1,2	3,4
Crateús	7,1	3,4	3,1
Quixeramobim	-	6,1	5,9
Morada Nova	-	2,4	2,3
Tauá	-	3,7	3,7
Iguatu	-22,2	7,0	5,6
Campos Sales	-	22,5	20,7
Barbalha	-32,0	25,5	5,6

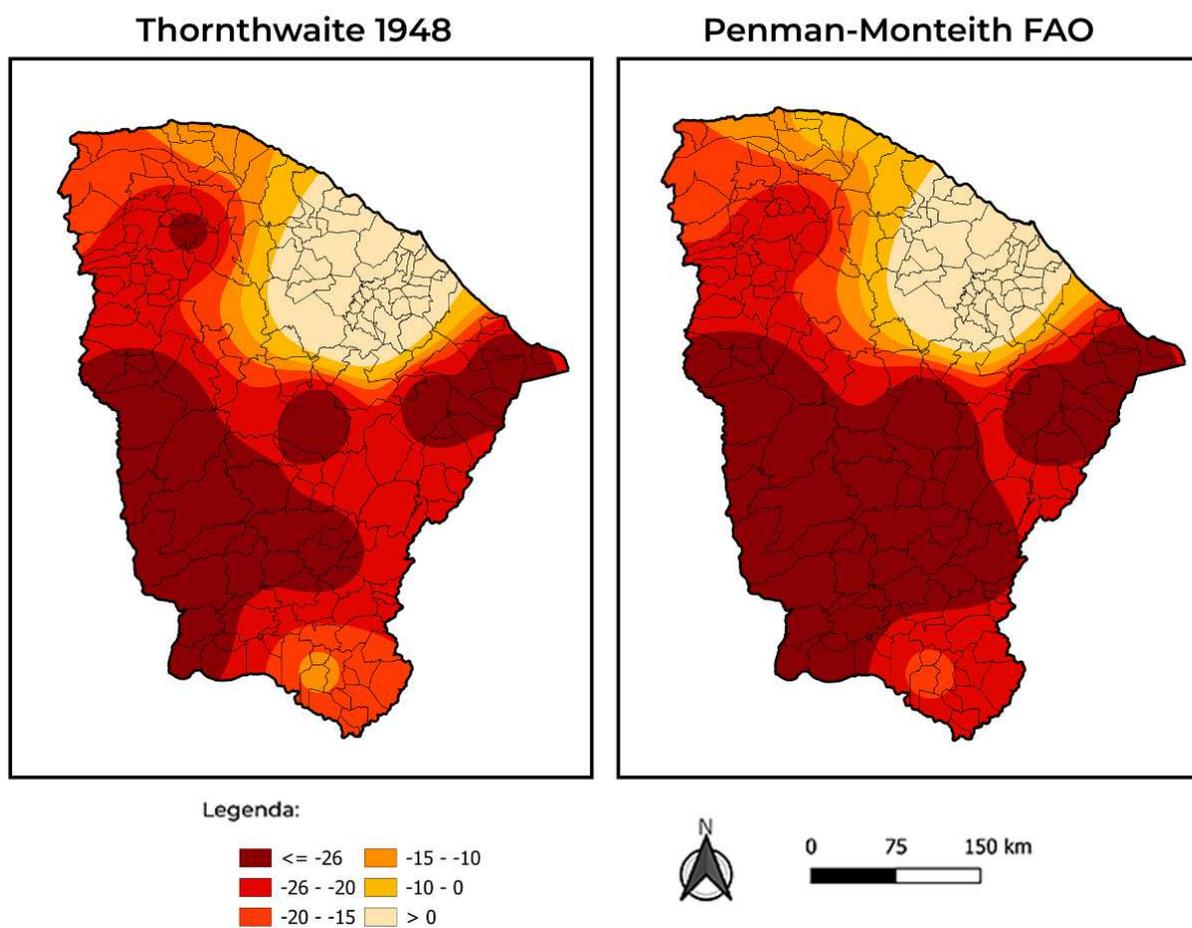
Fonte: Autor (2024).

Figura 24 – Índice hídrico (Ih) para o estado do Ceará.



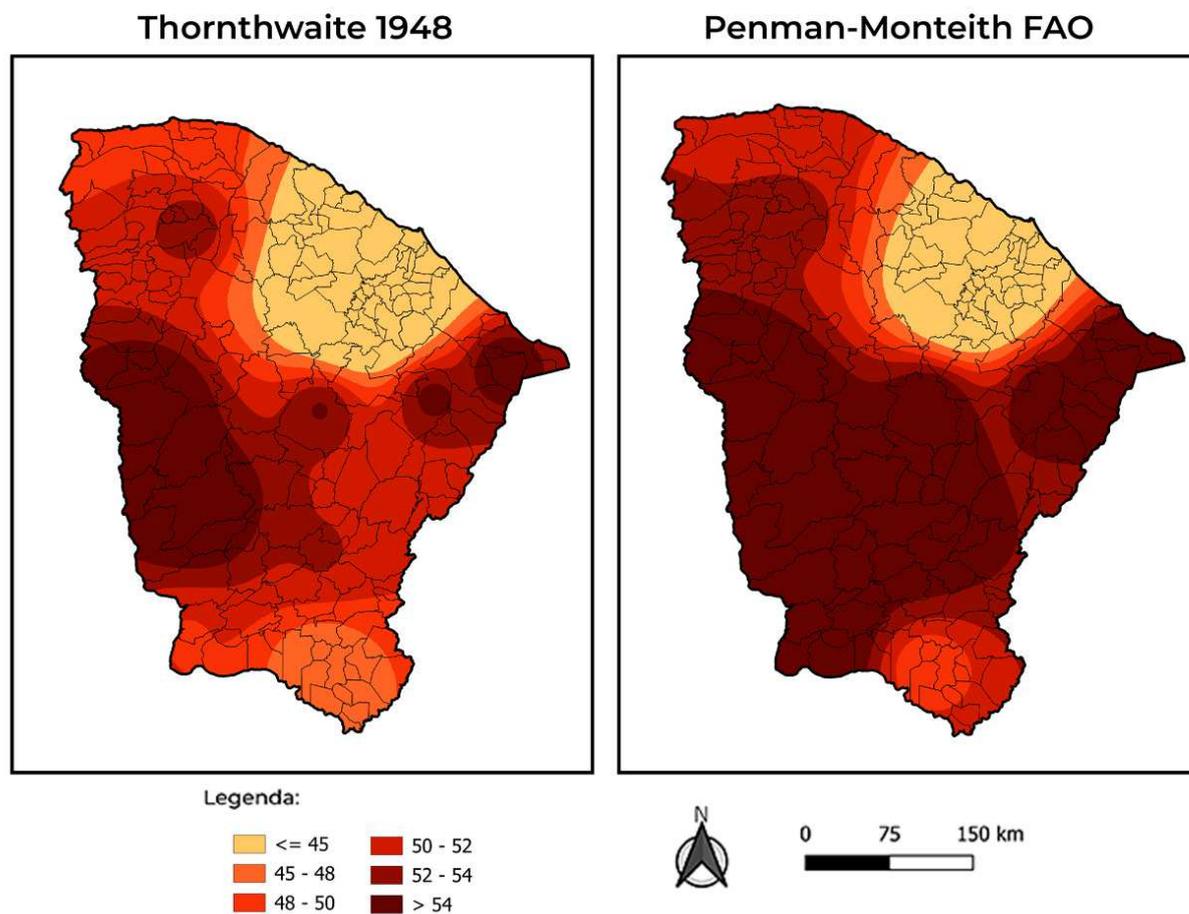
Fonte: Autor (2024).

Figura 25 – Índice de umidade (Iu) para o estado do Ceará.



Fonte: Autor (2024).

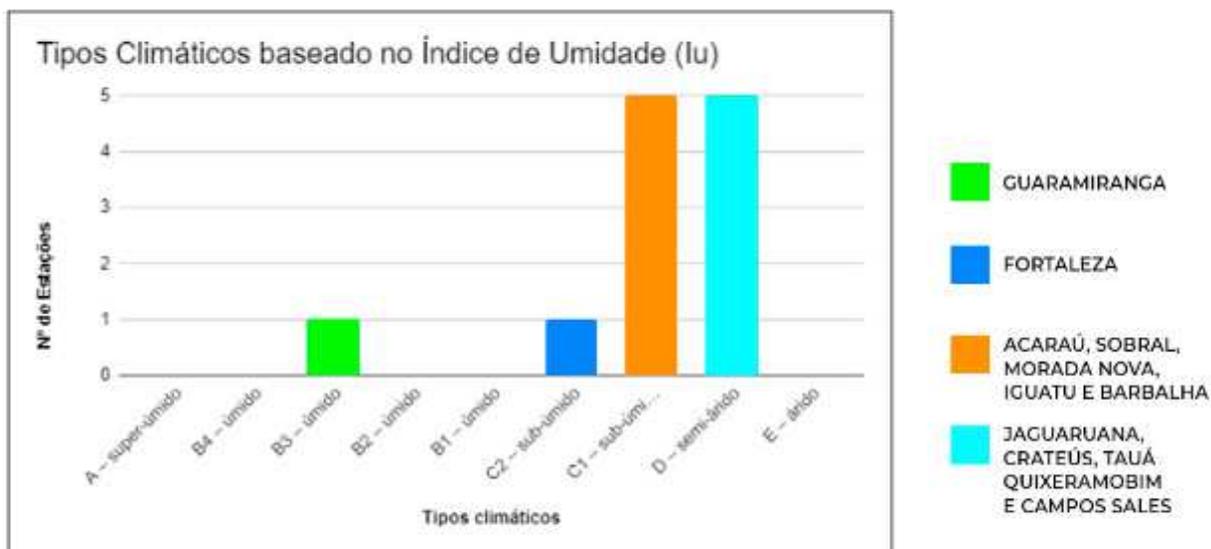
Figura 26 – Índice de aridez (Ia) para o estado do Ceará.



Fonte: Autor (2024).

Com base no Índice de Umidade (Iu) pode-se determinar o tipo climático da região para classificação do Ceará (Tabela 5), onde foram identificados 4 tipos climáticos: Jaguaruana, Crateús, Quixeramobim, Tauá e Campos Sales como semiárido (D); Acaraú, Sobral, Morada Nova, Iguatu e Barbalha como subúmido seco (C1); Fortaleza como subúmido (C2) e Guaramiranga como úmido (B3), conforme mostra Gráfico 4. Resultados esses que se assemelham aos encontrados no trabalho de Silva (2022) para o estado do Rio Grande do Norte, em que apresentou três tipos climáticos subúmido (C2), subúmido seco (C1) e semiárido (D).

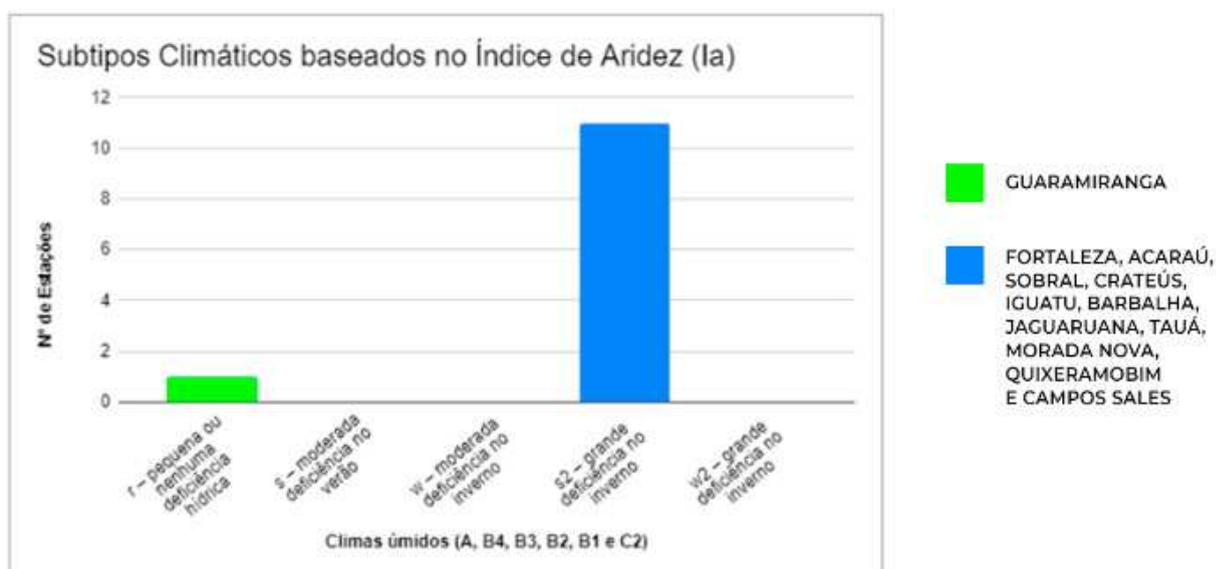
Gráfico 4 – Tipos Climáticos baseado no Índice de Umidade (Iu)



Fonte: Autor (2024).

Em seguida, com base no Ia, a segunda chave apresentou apenas a estação de Guaramiranga com valores abaixo de 16,7%, resultando na letra r que caracteriza uma pequena ou nenhuma deficiência hídrica (Tabela 6). Já as demais 11 estações tiveram valores acima de 33,3%, o que resulta na letra s2 para todas, classificando-as como grande deficiência no inverno.

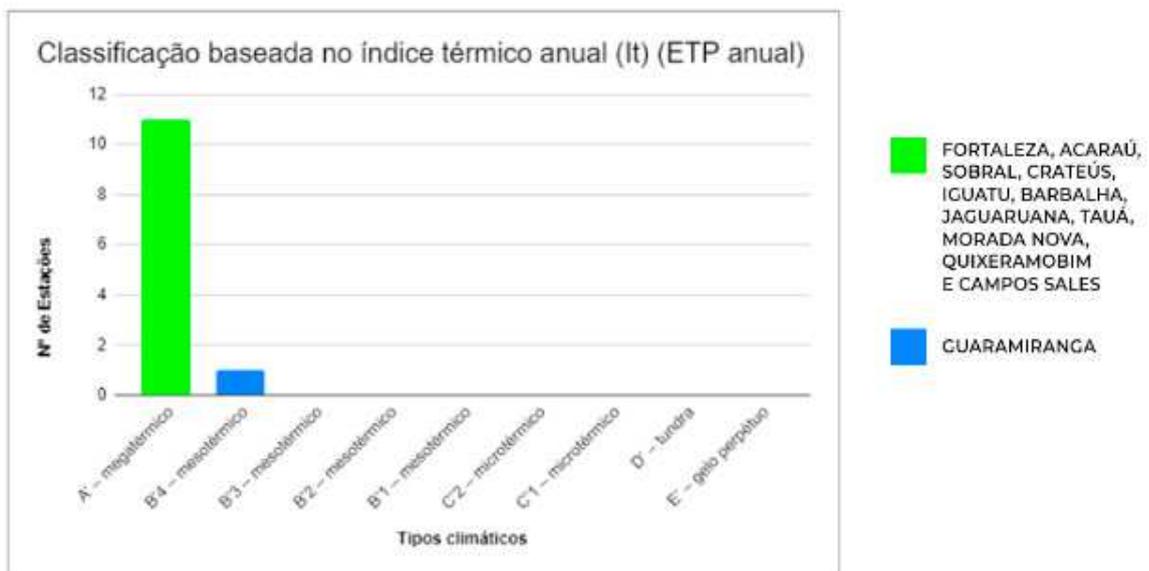
Gráfico 5 – Subtipos Climáticos baseados no Índice de Aridez (Ia)



Fonte: Autor (2024).

Utilizando a terceira chave (Tabela 7) e considerando a evapotranspiração anual de cada estação, obteve-se a letra A' para 11 estações, indicando um clima megatérmico e letra B'4 para a estação de Guaramiranga, que indica clima mesotérmico (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Classificação climática de Thornthwaite, baseados no índice térmico anual (It) (ETPanual).



Fonte: Autor (2024).

Por fim, com base na quarta chave (Tabela 8) e em relação à evapotranspiração de verão (ETP_v), determinada pelo somatório da ETP dos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, em comparação com a ETP_{anual}, determinando o subtipo climático de cada estação, tendo unanimidade no subtipo a' (Gráfico 7).

Gráfico 7 – Classificação climática de Thornthwaite e Mather, baseado na relação de ETP de verão e anual.



Fonte: Autor (2024).

Dessa forma, os resultados deste estudo indicaram que a classificação climática proposta por Thornthwaite e Mather para o estado do Ceará foi em sua grande maioria como C1/D s2 A' a', ou seja, subúmido seco e semiárido, com o subtipo climático de grande deficiência no inverno, caracterizando-o como megatérmico com a'.

5 CONCLUSÃO

Com base nisso, este estudo teve como objetivo analisar a variação do balanço hídrico climatológico no estado do Ceará. Para alcançá-lo, selecionou-se 12 das 17 estações meteorológicas que mais contém dados no estado, fez-se o tratamento dos dados disponíveis para posterior cálculo do BHC e obtenção dos resultados na região estudada. Essa abordagem possibilitou atingir os objetivos específicos propostos, conforme resumido a seguir.

Sobre a determinação das médias históricas das variáveis disponíveis no INMET entre 1961 a 2020, destacou-se que no estado do Ceará, a média da precipitação total anual foi estimada em 962,5 mm, março e abril se destacam como os meses com maior precipitação, atingindo uma média de 210 mm e agosto e setembro registram uma média menor, em torno de 9 mm. O valor médio anual de evaporação totalizou 2182,7 mm, onde em abril, registrou-se a menor média mensal de evaporação do ano, com apenas 84,9 mm. Em contrapartida, em outubro, a evaporação alcançou seu ponto máximo, com uma média de aproximadamente 269,5 mm. A temperatura média mensal do ar foi registrada em aproximadamente 26,3°C. Durante junho e julho, foram registradas as temperaturas mais baixas, em torno de 25,1°C, enquanto nos meses de novembro e dezembro as temperaturas mais altas do ano foram observadas, alcançando cerca de 27,4°C.

Foi apurado a respeito do cálculo da evapotranspiração potencial através dos métodos de Thornthwaite e Penman-Monteith que as variações médias anuais entre os dois métodos são geralmente pequenas, tendo variações com mínimas de 0,1% e máximas de 41,1% a nível mensal, e média geral para o período e estações analisadas de 7,3%, indicando que Thornthwaite pode oferecer estimativas confiáveis com menor complexidade e menor necessidade de dados meteorológicos detalhados. Isso proporciona uma solução eficiente e econômica para estimativas de evapotranspiração potencial tornando-o uma alternativa de melhor custo-benefício.

Para a classificação climática de Köppen, os resultados deste estudo mostraram que, em sua maioria, são descritas como BSh, categorizadas como Seco, com um clima semiárido seco e quente. Já a classificação climática proposta por Thornthwaite e Mather para o estado do Ceará, foi obtido em onze estações como C1/D s2 A' a', o que significa que é principalmente subúmido seco e semiárido, com um subtipo climático de grande deficiência no inverno, caracterizando-o como megatérmico com a'.

Assim, acredita-se que o objetivo da pesquisa tenha sido alcançado. Além disso, destaca-se a importância de estudos vindouros sobre simulações para cenários climáticos

futuros no estado do Ceará com base no balanço hídrico atual, produzir uma caracterização do tipo, profundidade e principais características dos solos predominantes na região e como isso influencia no BHC, por fim, calcular o balanço hídrico sequencial durante o mesmo período trabalhado poderia fornecer percepções adicionais em comparação ao balanço hídrico normal. Tudo isso possibilitaria uma compreensão mais completa da realidade da região estudada.

Portanto, o balanço hídrico climatológico e a classificação climática no estado do Ceará pode impactar diretamente a agricultura da região, fornecendo direcionamentos sobre os padrões climáticos locais, condições de disponibilidade hídrica e períodos adequados para atividades agrícolas, bem como a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 300 p. (FAO Irrigation and drainage paper, 56), 1998.
- ALMEIDA, L.C. **Análise espacial de dados com o Quantum Gis: exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC**. Observatorium, 3:173-194, 2011.
- AMORIM NETO, M. S. A. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955)**. Comunicado Técnico Embrapa, 1989.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 24 abr. 2023, 2005.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332p, 2010.
- BARRA, Tarcisio da S. et al. **Caracterização climatológica da severidade de secas do estado do Ceará-Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, p. 266-272, 2002.
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, 95 p. (IPAGRO. Boletim técnico, 7), 1981.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. **Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI**. Revista Brasileira de Meteorologia, Santa Maria, v.25, n.3, p.404-414, 2010.
- BURGOS, J.J. **Agro climatic Classifications and Representations: Report of the Applications value of Climatic and Agro climatic Classification for Agricultural purposes**. WMO, Comission for Agricultural Meteorology. Varsóvia, 1958.
- CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S. **Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages**. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v. 145, p. 22–35, 2007.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. Bragantia, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CARVALHO, H. K et al. **Balanço hídrico climatológico, Armazenamento Efectivo Da Água No Solo E Transpiração Na Cultura De Café**. Uberlândia, 2009.
- CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465, 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

D'Angiolella, G.; Vasconcellos, V. L. D. **BHídrico GD 4.0-2004: Planilha eletrônica Cálculo do balanço hídrico climatológico**. Bahia Agríc., v.6, n.3, nov. 2004.

DAMIÃO, et al. **Balanço Hídrico Da Região De Ilha Solteira**. Noroeste paulista. Minas Gerais, 2010.

DEACON, E.L.; PRIESTEY, C.H.B.; SWINBANK, W.C. **Evaporation and the water balance**. In: ARID ZONE RESEARCH. Climatology: Reviews of research. Paris: UNESCO. p. 9-34, 1958.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. et al. **Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES)**. Revista Ambiência, v. 8, n. 1, p. 61– 71. DOI: <<https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.05>>, 2012.

GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R.G. **Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions**. Agricultural Water Management, Amsterdam, n. 89 n. 3, p. 275–286, 2007.

HOLANDA, R. M., MEDEIROS, R. M. **Classificação climática pelo método de Köppen e Thornthwaite em Bom Jesus do Piauí, Brasil**. Revista Pantaneira, 16, 57 - 68, 2019.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará**. Anuário Estatístico do Ceará, 2013. Disponível : <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2022/territorial/index.htm>. Acesso: 02 mar. 2024.

MARENCO, A. J.; ALVES, L. M.; BESERRA, A. E.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Eds. Recursos hídricos em regiões áridas e Semiáridas. Campinas Grande- PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 383-416, 2011.

MATHER, J.R. **A summary of evapotranspiration at Seabrook, 1947-1953**. In: The measurement of potential evapotranspiration. Seabrook: The Johns Hopkins University, p.7-28 (Publications in Climatology, v. 7, n.1), 1954.

MATHER, J.R. **Preface**. Centerton, N.J., p. 247-248. (Publications in Climatology, v. XI, n.3), 1958.

MATOS, Rigoberto Moreira et al. **Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha-CE**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 3, p. 973-982, 2020.

MATZENAUER, R. **Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura**. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: UFRGS, p. 31-39, 1992.

MIRANDA, R. A. C. & SANTOS, A. S. **Balanço hídrico e classificação climática de Thornthwaite em Duas Barras**. Rio de Janeiro, 2008.

MONTEITH, J. L. **Evaporation and surface temperature**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, London. V.107, p.1-27, 1981.

MORENO, N. B. C., Silva, A. A., Silva, D. F. **Análise de variáveis meteorológicas para indicação de áreas agrícolas aptas para banana e caju no Estado do Ceará**. Revista

Brasileira de Geografia Física [online] 9. Disponível: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1>>. p001-015. Acesso: 21 fev 2020.

NOBRE. As origens das águas no nordeste: a questão da água no nordeste centro de gestão e estudos estratégicos. 2012.

OLIVEIRA, J. A. M., Oliveira, C. M. M. **Balço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada [online] 12. Disponível: <<https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600901>>. Acesso: 20 mar. 2020.

OMETTO, J. C. **Adaptação e Simplificação do método de Penman as Condições Climáticas do Estado de São Paulo.** Simpósio Brasileiro de Hidrologia e recursos Hídricos. Universidade Federal de Ceara. Fortaleza, 1981.

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

PEJOVIĆ, M.; Gospavić, Z.; Milovanović, B.; Arsić, I. **Solving a surveying problem by using R and QGIS - Setting out of a land expropriation zone.** Genouka, 2(2):12-18, 2014.

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

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. **Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data: application to South Bulgaria.** Irrigation and Drainage, v. 55, n. 2, p. 201–215, Apr. 2006. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ird.228/pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2024.

PORTELA, Maria Manuela; SANTOS, João; DE CARVALHO STUDART, Ticiania Marinho. **Effect of the evapotranspiration of thornthwaite and of penman-monteith in the estimation of monthly streamflows based on a monthly water balance Model.** Current Practice in Fluvial Geomorphology-Dynamics and Diversity, 2019.

QGIS. **QGIS - A liderança do SIG de código aberto. Guia do Usuário QGIS 4. Feições.** 2024. Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.34/pt_BR/docs/user_manual/preamble/features.html>. Acesso em: 08 abr. 2024.

REICHARDT K. **A água em sistemas agrícolas.** Barueri (SP): Manole, 1990.

RODRIGUEZ, J. M. M.; Silva, E. V. A. **Classificação das paisagens a partir de uma cisão geossistêmica.** Mercator - Revista de Geografia da UFC 1, 96–112, 2002.

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

SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.** Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2010.

SANTOS, G. O. et al. **Balço 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.

SEDIYAMA, G. C. **Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1996.

SENTELHAS PC, Angelocci LR. **Balço hídrico climatológico normal e sequencial, de cultura e para manejo de irrigação.** In: LCE 306 Meteorologia agrícola, 2009.

SENTELHAS, P.C.; SANTOS, D.L. dos; MACHADO, R.E. **Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration.** Revista Ambiente e Água, v.3, p.28-42, 2008.

SILVA, Alíbia Deysi Guedes et al. **Balço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 30, p. 798-816, 2022.

SILVA, G.C., Almeida, F.P., Almeida, R.T.S., Mesquita, M., Alves Junior, J. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil.** Enciclopédia Biosfera, v. 15, p. 244-255, 2018.

VALDIVIA, P. G. **Monitoramento hidrogeológico da bacia-piloto do ribeirão da Onça em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani determinação da evapotranspiração.** Trabalho de conclusão de curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 43 p., 2005.

VEGA, E. C.; JARA, J. C. **Estimación de la evapotranspiración de referencia para das zonas (Costa Y Región Andina) del Ecuador.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 3, set. 2009.

WIDMOSER, P. **A discussion on and alternative to Penman–Monteith equation.** Agricultural Water Management, Amsterdam, n. 96, p. 711–721, 2009.

WMO. **The Role of Climatological Normals in a Changing Climate (WMO/TD-No. 1377).** Geneva, 2007.

WMO. **WMO guidelines on the calculation of climate normals.** 2017. 2015 edition, updated in 2017. Geneva, 2017.

ANEXO A – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	95,0	160,9	-65,9	-1156,6	0,0	0,0	95,0	65,9	0,0
Fev	124,2	126,3	-2,1	-1158,7	0,0	0,0	124,2	2,1	0,0
Mar	195,3	128,3	67,0	0,0	67,0	67,0	128,3	0,0	0,0
Abr	174,3	117,2	57,1	0,0	100,0	33,0	117,2	0,0	24,1
Mai	72,7	121,7	-49,0	-49,0	61,3	-38,7	111,4	10,3	0,0
Jun	18,4	113,6	-95,2	-144,2	23,6	-37,6	56,0	57,6	0,0
Jul	10,4	123,1	-112,7	-256,9	7,7	-16,0	26,4	96,7	0,0
Ago	5,1	146,3	-141,2	-398,1	1,9	-5,8	10,9	135,4	0,0
Set	3,6	170,1	-166,5	-564,6	0,4	-1,5	5,1	165,0	0,0
Out	5,3	195,9	-190,6	-755,2	0,1	-0,3	5,6	190,3	0,0
Nov	12,2	191,5	-179,3	-934,5	0,0	0,0	12,2	179,3	0,0
Dez	34,6	190,9	-156,3	-1090,8	0,0	0,0	34,6	156,3	0,0
Média	62,6	148,8	-86,2	-542,4	-	-	60,6	88,2	2,0
Total/Ano	751,0	1785,8	-1034,7	-6508,8	-	-	727,0	1058,7	24,1

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	95,0	152,5	-57,5	-1244,0	0,0	0,0	95,0	57,5	0,0
Fev	124,2	123,8	0,4	0,0	0,4	0,4	123,8	0,0	0,0
Mar	195,3	128,5	66,8	0,0	67,2	66,8	128,5	0,0	0,0
Abr	174,3	116,1	58,2	0,0	100,0	32,8	116,1	0,0	25,4
Mai	72,7	125,9	-53,2	-53,2	58,7	-41,3	114,0	12,0	0,0
Jun	18,4	127,4	-109,0	-162,2	19,7	-39,0	57,4	70,0	0,0
Jul	10,4	146,7	-136,3	-298,6	5,0	-14,7	25,1	121,7	0,0
Ago	5,1	174,4	-169,3	-467,9	0,9	-4,1	9,2	165,2	0,0
Set	3,6	189,5	-185,9	-653,8	0,1	-0,8	4,4	185,1	0,0
Out	5,3	207,1	-201,8	-855,7	0,0	-0,1	5,4	201,7	0,0
Nov	12,2	193,3	-181,1	-1036,7	0,0	0,0	12,2	181,0	0,0
Dez	34,6	184,4	-149,8	-1186,5	0,0	0,0	34,6	149,8	0,0
Média	62,6	155,8	-93,2	-496,6	-	-	60,5	95,3	2,1
Total/Ano	751,0	1869,8	-1118,7	-5958,7	-	-	725,7	1144,0	25,4

ANEXO B – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE ACARAÚ-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	119,7	161,7	-42,0	-942,3	0,0	0,0	119,7	42,0	0,0
Fev	165,4	137,3	28,1	0,0	28,1	28,1	137,3	0,0	0,0
Mar	308,6	142,6	166,0	0,0	100,0	71,9	142,6	0,0	94,1
Abr	289,9	133,1	156,8	0,0	100,0	0,0	133,1	0,0	156,8
Mai	163,2	134,8	28,4	0,0	100,0	0,0	134,8	0,0	28,4
Jun	60,3	124,4	-64,1	-64,1	52,7	-47,3	107,6	16,8	0,0
Jul	30,9	128,6	-97,7	-161,8	19,8	-32,9	63,8	64,9	0,0
Ago	5,0	139,2	-134,2	-296,0	5,2	-14,6	19,6	119,5	0,0
Set	3,0	145,8	-142,8	-438,7	1,2	-3,9	6,9	138,8	0,0
Out	4,8	162,8	-158,0	-596,8	0,3	-1,0	5,8	157,0	0,0
Nov	3,4	160,7	-157,3	-754,1	0,1	-0,2	3,6	157,1	0,0
Dez	22,7	168,9	-146,2	-900,3	0,0	0,0	22,7	146,1	0,0
Média	98,1	145,0	-46,9	-346,2	-	-	74,8	70,2	23,3
Total/Ano	1176,9	1739,8	-562,9	-4154,0	-	-	897,5	842,3	279,4

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	119,7	140,4	-20,7	-957,8	0,0	0,0	119,7	20,7	0,0
Fev	165,4	113,8	51,6	0,0	51,6	51,6	113,8	0,0	0,0
Mar	308,6	116,2	192,4	0,0	100,0	48,4	116,2	0,0	144,0
Abr	289,9	107,6	182,3	0,0	100,0	0,0	107,6	0,0	182,3
Mai	163,2	118,3	44,9	0,0	100,0	0,0	118,3	0,0	44,9
Jun	60,3	115,3	-55,0	-55,0	57,7	-42,3	102,6	12,7	0,0
Jul	30,9	129,2	-98,3	-153,3	21,6	-36,1	67,0	62,2	0,0
Ago	5,0	153,7	-148,7	-302,0	4,9	-16,7	21,7	132,0	0,0
Set	3,0	162,2	-159,2	-461,3	1,0	-3,9	6,9	155,3	0,0
Out	4,8	177,5	-172,7	-633,9	0,2	-0,8	5,6	171,8	0,0
Nov	3,4	166,9	-163,5	-797,4	0,0	-0,1	3,5	163,3	0,0
Dez	22,7	162,5	-139,8	-937,1	0,0	0,0	22,7	139,7	0,0
Média	98,1	138,6	-40,6	-358,2	-	-	67,1	71,5	30,9
Total/Ano	1176,9	1663,5	-486,6	-4297,9	-	-	805,7	857,8	371,2

ANEXO C – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE BARBALHA-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITTE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	165,0	136,1	28,9	0,0	28,9	28,9	136,1	0,0	0,0
Fev	185,3	110,6	74,7	0,0	100,0	71,1	110,6	0,0	3,6
Mar	240,1	115,8	124,3	0,0	100,0	0,0	115,8	0,0	124,3
Abr	174,1	107,2	66,9	0,0	100,0	0,0	107,2	0,0	66,9
Mai	68,9	104,7	-35,8	-35,8	69,9	-30,1	99,0	5,7	0,0
Jun	19,3	95,0	-75,7	-111,5	32,8	-37,1	56,4	38,6	0,0
Jul	13,6	99,9	-86,3	-197,8	13,8	-19,0	32,6	67,3	0,0
Ago	4,1	114,6	-110,5	-308,2	4,6	-9,3	13,4	101,2	0,0
Set	6,8	132,3	-125,5	-433,8	1,3	-3,3	10,1	122,3	0,0
Out	21,3	154,1	-132,8	-566,6	0,3	-1,0	22,3	131,8	0,0
Nov	34,6	153,2	-118,6	-685,2	0,1	-0,2	34,8	118,4	0,0
Dez	69,2	153,4	-84,2	-769,4	0,0	-0,1	69,3	84,2	0,0
Média	83,5	123,1	-39,6	-259,0	-	-	67,3	55,8	16,2
Total/Ano	1002,3	1477,0	-474,7	-3108,2	-	-	807,5	669,4	194,8

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	165,0	139,1	25,9	0,0	25,9	25,9	139,1	0,0	0,0
Fev	185,3	115,4	69,9	0,0	95,8	69,9	115,4	0,0	0,0
Mar	240,1	128,6	111,5	0,0	100,0	4,2	128,6	0,0	107,3
Abr	174,1	119,2	54,9	0,0	100,0	0,0	119,2	0,0	54,9
Mai	68,9	117,5	-48,6	-48,6	61,5	-38,5	107,4	10,1	0,0
Jun	19,3	108,5	-89,2	-137,8	25,2	-36,3	55,6	52,9	0,0
Jul	13,6	118,2	-104,6	-242,4	8,9	-16,3	29,9	88,2	0,0
Ago	4,1	140,4	-136,3	-378,7	2,3	-6,6	10,7	129,8	0,0
Set	6,8	153,2	-146,4	-525,1	0,5	-1,7	8,5	144,6	0,0
Out	21,3	167,1	-145,8	-670,9	0,1	-0,4	21,7	145,4	0,0
Nov	34,6	156,1	-121,5	-792,3	0,0	-0,1	34,7	121,4	0,0
Dez	69,2	152,6	-83,4	-875,7	0,0	0,0	69,2	83,4	0,0
Média	83,5	134,6	-51,1	-306,0	-	-	70,0	64,6	13,5
Total/Ano	1002,3	1615,8	-613,5	-3671,4	-	-	840,1	775,7	162,2

ANEXO D – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE TAUÁ-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	77,3	161,5	-84,2	-1127,4	0,0	0,0	77,3	84,2	0,0
Fev	105,1	134,4	-29,3	-1156,7	0,0	0,0	105,1	29,3	0,0
Mar	143,8	136,6	7,2	0,0	7,2	7,2	136,6	0,0	0,0
Abr	131,8	124,6	7,2	0,0	14,4	7,2	124,6	0,0	0,0
Mai	63,9	123,5	-59,6	-59,6	55,1	40,7	104,6	18,8	0,0
Jun	31,8	113,4	-81,6	-141,2	24,4	-30,8	62,6	50,9	0,0
Jul	14,6	121,1	-106,5	-247,7	8,4	-16,0	30,6	90,6	0,0
Ago	4,1	139,9	-135,8	-383,5	2,2	-6,2	10,3	129,6	0,0
Set	4,5	158,5	-154,0	-537,5	0,5	-1,7	6,2	152,3	0,0
Out	5,8	180,6	-174,8	-712,3	0,1	-0,4	6,2	174,4	0,0
Nov	6,9	181,7	-174,8	-887,1	0,0	-0,1	7,0	174,8	0,0
Dez	27,7	183,7	-156,0	-1043,2	0,0	0,0	27,7	156,0	0,0
Média	51,4	146,6	-95,2	-524,7	-	-	58,2	88,4	0,0
Total/Ano	617,3	1759,6	-1142,3	-6296,2	-	-	698,7	1060,8	0,0

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	77,3	153,9	-76,6	-1211,8	0,0	0,0	77,3	76,6	0,0
Fev	105,1	127,4	-22,3	-1234,2	0,0	0,0	105,1	22,3	0,0
Mar	143,8	134,7	9,1	0,0	9,1	9,1	134,7	0,0	0,0
Abr	131,8	121,9	9,9	0,0	19,0	9,9	121,9	0,0	0,0
Mai	63,9	127,9	-64,0	-64,0	52,7	33,7	97,6	30,3	0,0
Jun	31,8	127,1	-95,3	-159,4	20,3	-32,4	64,2	62,9	0,0
Jul	14,6	141,9	-127,3	-286,7	5,7	-14,6	29,2	112,7	0,0
Ago	4,1	166,4	-162,3	-449,0	1,1	-4,6	8,7	157,7	0,0
Set	4,5	176,9	-172,4	-621,3	0,2	-0,9	5,4	171,4	0,0
Out	5,8	192,4	-186,6	-808,0	0,0	-0,2	6,0	186,5	0,0
Nov	6,9	183,2	-176,3	-984,3	0,0	0,0	6,9	176,3	0,0
Dez	27,7	178,6	-150,9	-1135,3	0,0	0,0	27,7	150,9	0,0
Média	51,4	152,7	-101,3	-579,5	-	-	57,1	95,6	0,0
Total/Ano	617,3	1832,5	-1215,2	-6954,0	-	-	684,8	1147,7	0,0

ANEXO E – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE CAMPOS SALES-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	103,2	124,1	-20,9	-776,8	0,0	0,0	103,2	20,9	0,0
Fev	124,1	101,3	22,8	0,0	22,9	22,8	101,3	0,0	0,0
Mar	162,6	103,4	59,2	0,0	82,1	59,2	103,4	0,0	0,0
Abr	124,7	98,4	26,3	0,0	100,0	17,9	98,4	0,0	8,3
Mai	58,4	97,6	-39,2	-39,2	67,6	-32,4	90,8	6,8	0,0
Jun	19,5	87,6	-68,1	-107,3	34,2	-33,4	52,9	34,7	0,0
Jul	12,0	92,0	-80,0	-187,3	15,4	-18,8	30,8	61,2	0,0
Ago	2,2	103,7	-101,5	-288,8	5,6	-9,8	12,0	91,7	0,0
Set	3,5	122,1	-118,6	-407,5	1,7	-3,9	7,4	114,8	0,0
Out	12,7	145,0	-132,3	-539,8	0,5	-1,2	13,9	131,1	0,0
Nov	21,9	142,3	-120,4	-660,2	0,1	-0,3	22,2	120,1	0,0
Dez	47,1	142,8	-95,7	-755,9	0,1	-0,1	47,2	95,6	0,0
Média	57,7	113,4	-55,7	-313,6	-	-	57,0	56,4	0,7
Total/Ano	691,9	1360,4	-668,5	-3762,8	-	-	683,6	676,9	8,3

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	103,2	153,7	-50,5	-1229,1	0,0	0,0	103,2	50,5	0,0
Fev	124,1	120,0	4,1	0,0	4,1	4,1	120,0	0,0	0,0
Mar	162,6	125,5	37,1	0,0	41,2	37,1	125,5	0,0	0,0
Abr	124,7	119,7	5,0	0,0	46,2	5,0	119,7	0,0	0,0
Mai	58,4	129,5	-71,1	-71,1	49,1	2,9	61,3	68,2	0,0
Jun	19,5	129,7	-110,2	-181,3	16,3	-32,8	52,3	77,4	0,0
Jul	12,0	146,9	-134,9	-316,3	4,2	-12,1	24,1	122,9	0,0
Ago	2,2	176,0	-173,8	-490,1	0,7	-3,5	5,7	170,3	0,0
Set	3,5	191,6	-188,1	-678,1	0,1	-0,6	4,1	187,4	0,0
Out	12,7	208,2	-195,5	-873,6	0,0	-0,1	12,8	195,4	0,0
Nov	21,9	191,1	-169,2	-1042,8	0,0	0,0	21,9	169,2	0,0
Dez	47,1	182,9	-135,8	-1178,7	0,0	0,0	47,1	135,8	0,0
Média	57,7	156,2	-98,6	-505,1	-	-	58,1	98,1	0,0
Total/Ano	691,9	1874,8	-1182,9	-6061,1	-	-	697,7	1177,1	0,0

ANEXO F – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE FORTALEZA-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	142,5	157,9	-15,4	-685,9	0,1	0,0	142,5	15,4	0,0
Fev	193,3	135,9	57,4	0,0	57,5	57,4	135,9	0,0	0,0
Mar	323,6	141,0	182,6	0,0	100,0	42,5	141,0	0,0	140,1
Abr	362,7	133,3	229,4	0,0	100,0	0,0	133,3	0,0	229,4
Mai	234,3	136,7	97,6	0,0	100,0	0,0	136,7	0,0	97,6
Jun	147,2	124,3	22,9	0,0	100,0	0,0	124,3	0,0	22,9
Jul	87,6	124,9	-37,3	-37,3	68,9	-31,1	118,7	6,2	0,0
Ago	23,7	133,3	-109,6	-146,9	23,0	-45,8	69,5	63,8	0,0
Set	21,6	139,9	-118,3	-265,2	7,1	-16,0	37,6	102,3	0,0
Out	17,2	156,5	-139,3	-404,4	1,8	-5,3	22,5	134,0	0,0
Nov	14,4	154,7	-140,3	-544,7	0,4	-1,3	15,7	139,0	0,0
Dez	39,2	165,0	-125,8	-670,5	0,1	-0,3	39,5	125,5	0,0
Média	133,9	141,9	-8,0	-229,6	-	-	93,1	48,8	40,8
Total/Ano	1607,3	1703,3	-96,0	-2755,0	-	-	1117,3	586,0	490,0

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	142,5	142,6	-0,1	-726,5	0,1	0,0	142,5	0,1	0,0
Fev	193,3	116,2	77,1	0,0	77,1	77,1	116,2	0,0	0,0
Mar	323,6	119,6	204,0	0,0	100,0	22,9	119,6	0,0	181,1
Abr	362,7	109,3	253,4	0,0	100,0	0,0	109,3	0,0	253,4
Mai	234,3	121,2	113,1	0,0	100,0	0,0	121,2	0,0	113,1
Jun	147,2	114,6	32,6	0,0	100,0	0,0	114,6	0,0	32,6
Jul	87,6	126,9	-39,3	-39,3	67,5	-32,5	120,1	6,8	0,0
Ago	23,7	148,8	-125,1	-164,3	19,3	-48,2	71,9	76,9	0,0
Set	21,6	158,0	-136,4	-300,7	4,9	-14,4	36,0	122,0	0,0
Out	17,2	172,8	-155,6	-456,3	1,0	-3,9	21,1	151,7	0,0
Nov	14,4	163,5	-149,1	-605,4	0,2	-0,8	15,2	148,3	0,0
Dez	39,2	160,1	-120,9	-726,4	0,1	-0,2	39,4	120,8	0,0
Média	133,9	137,8	-3,9	-251,6	-	-	85,6	52,2	48,4
Total/Ano	1607,3	1653,6	-46,3	-3019,0	-	-	1027,0	626,6	580,3

ANEXO G – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE GUARAMIRANGA-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	154,7	85,7	69,0	0,0	82,7	69,0	85,7	0,0	0,0
Fev	187,8	75,2	112,6	0,0	100,0	17,3	75,2	0,0	95,3
Mar	284,7	81,6	203,1	0,0	100,0	0,0	81,6	0,0	203,1
Abr	289,6	78,2	211,4	0,0	100,0	0,0	78,2	0,0	211,4
Mai	225,4	78,4	147,0	0,0	100,0	0,0	78,4	0,0	147,0
Jun	179,1	70,6	108,5	0,0	100,0	0,0	70,6	0,0	108,5
Jul	115,1	70,7	44,4	0,0	100,0	0,0	70,7	0,0	44,4
Ago	41,2	74,5	-33,3	-33,3	71,7	-28,3	69,5	5,0	0,0
Set	31,1	76,9	-45,8	-79,1	45,3	-26,4	57,5	19,5	0,0
Out	33,0	83,0	-50,0	-129,1	27,5	-17,8	50,8	32,1	0,0
Nov	35,1	82,7	-47,6	-176,7	17,1	-10,4	45,5	37,2	0,0
Dez	64,5	86,7	-22,2	-198,9	13,7	-3,4	67,9	18,8	0,0
Média	136,8	78,7	58,1	-51,4	-	-	69,3	9,4	67,5
Total/Ano	1641,3	944,3	697,0	-617,1	-	-	831,6	112,6	809,7

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	154,7	95,9	58,8	0,0	62,6	58,8	95,9	0,0	0,0
Fev	187,8	78,5	109,3	0,0	100,0	37,4	78,5	0,0	71,9
Mar	284,7	80,1	204,6	0,0	100,0	0,0	80,1	0,0	204,6
Abr	289,6	76,3	213,3	0,0	100,0	0,0	76,3	0,0	213,3
Mai	225,4	81,3	144,1	0,0	100,0	0,0	81,3	0,0	144,1
Jun	179,1	75,2	103,9	0,0	100,0	0,0	75,2	0,0	103,9
Jul	115,1	83,2	31,9	0,0	100,0	0,0	83,2	0,0	31,9
Ago	41,2	100,3	-59,1	-59,1	55,4	-44,6	85,8	14,5	0,0
Set	31,1	105,2	-74,1	-133,2	26,4	-29,0	60,1	45,1	0,0
Out	33,0	114,8	-81,8	-214,9	11,7	-14,7	47,7	67,0	0,0
Nov	35,1	107,0	-71,9	-286,9	5,7	-6,0	41,1	65,9	0,0
Dez	64,5	105,6	-41,1	-328,0	3,8	-1,9	66,4	39,2	0,0
Média	136,8	92,0	44,8	-85,2	-	-	72,6	19,3	64,1
Total/Ano	1641,3	1103,4	537,9	-1022,0	-	-	871,7	231,7	769,6

ANEXO H – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE IGUATU-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	116,6	164,1	-47,5	-1020,3	0,0	0,0	116,6	47,5	0,0
Fev	150,1	132,6	17,5	0,0	17,5	17,5	132,6	0,0	0,0
Mar	205,6	134,7	70,9	0,0	88,4	70,9	134,7	0,0	0,0
Abr	174,5	124,6	49,9	0,0	100,0	11,6	124,6	0,0	38,4
Mai	95,7	121,5	-25,8	-25,8	77,3	-22,7	118,4	3,1	0,0
Jun	32,7	109,9	-77,2	-103,0	35,7	-41,6	74,3	35,6	0,0
Jul	16,6	115,6	-99,0	-202,0	13,3	-22,4	39,0	76,5	0,0
Ago	9,2	139,8	-130,6	-332,6	3,6	-9,7	18,9	120,9	0,0
Set	10,2	158,5	-148,3	-480,8	0,8	-2,8	13,0	145,5	0,0
Out	15,9	180,7	-164,8	-645,6	0,2	-0,7	16,6	164,1	0,0
Nov	10,5	187,0	-176,5	-822,1	0,0	-0,1	10,6	176,4	0,0
Dez	41,0	191,8	-150,8	-972,9	0,0	0,0	41,0	150,7	0,0
Média	73,2	146,7	-73,5	-383,8	-	-	70,0	76,7	3,2
Total/Ano	878,6	1760,6	-882,0	-4605,0	-	-	840,2	920,3	38,4

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	116,6	160,0	-43,4	-1148,8	0,0	0,0	116,6	43,4	0,0
Fev	150,1	129,5	20,6	0,0	20,6	20,6	129,5	0,0	0,0
Mar	205,6	139,0	66,6	0,0	87,2	66,6	139,0	0,0	0,0
Abr	174,5	127,7	46,8	0,0	100,0	12,8	127,7	0,0	34,0
Mai	95,7	130,9	-35,2	-35,2	70,4	-29,6	125,3	5,5	0,0
Jun	32,7	126,9	-94,2	-129,3	27,4	-42,9	75,6	51,2	0,0
Jul	16,6	142,3	-125,7	-255,1	7,8	-19,6	36,2	106,1	0,0
Ago	9,2	171,2	-162,0	-417,1	1,5	-6,3	15,5	155,8	0,0
Set	10,2	183,2	-173,0	-590,1	0,3	-1,3	11,5	171,7	0,0
Out	15,9	200,1	-184,2	-774,2	0,0	-0,2	16,1	183,9	0,0
Nov	10,5	193,5	-183,0	-957,2	0,0	0,0	10,5	182,9	0,0
Dez	41,0	189,2	-148,2	-1105,5	0,0	0,0	41,0	148,2	0,0
Média	73,2	157,8	-84,6	-451,0	-	-	70,4	87,4	2,8
Total/Ano	878,6	1893,4	-1014,8	-5412,4	-	-	844,6	1048,8	34,0

ANEXO I – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE JAGUARUANA-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	78,3	172,4	-94,1	-1090,0	0,0	0,0	78,3	94,1	0,0
Fev	111,5	147,9	-36,4	-1126,4	0,0	0,0	111,5	36,4	0,0
Mar	204,1	150,7	53,4	0,0	53,4	53,4	150,7	0,0	0,0
Abr	193,3	139,9	53,4	0,0	100,0	46,6	139,9	0,0	6,8
Mai	111,4	141,1	-29,7	-29,7	74,3	-25,7	137,1	4,0	0,0
Jun	44,3	126,0	-81,7	-111,3	32,8	-41,5	85,8	40,2	0,0
Jul	24,7	128,4	-103,7	-215,1	11,6	-21,2	45,9	82,5	0,0
Ago	4,2	139,7	-135,5	-350,5	3,0	-8,6	12,8	126,8	0,0
Set	2,6	153,8	-151,2	-501,8	0,7	-2,3	4,9	148,9	0,0
Out	3,4	167,9	-164,5	-666,3	0,1	-0,5	3,9	164,0	0,0
Nov	1,7	168,8	-167,1	-833,4	0,0	-0,1	1,8	167,0	0,0
Dez	15,2	177,8	-162,6	-996,0	0,0	0,0	15,2	162,5	0,0
Média	66,2	151,2	-85,0	-493,4	-	-	65,7	85,5	0,6
Total/Ano	794,7	1814,3	-1019,6	-5920,5	-	-	787,9	1026,4	6,8

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	78,3	162,6	-84,3	-1151,5	0,0	0,0	78,3	84,3	0,0
Fev	111,5	132,8	-21,3	-1172,7	0,0	0,0	111,5	21,3	0,0
Mar	204,1	137,2	66,9	0,0	66,9	66,9	137,2	0,0	0,0
Abr	193,3	124,8	68,5	0,0	100,0	33,1	124,8	0,0	35,4
Mai	111,4	131,0	-19,6	-19,6	82,2	-17,8	129,2	1,8	0,0
Jun	44,3	120,8	-76,5	-96,1	38,3	-44,0	88,3	32,5	0,0
Jul	24,7	132,7	-108,0	-204,1	13,0	-25,3	50,0	82,8	0,0
Ago	4,2	158,2	-154,0	-358,1	2,8	-10,2	14,4	143,8	0,0
Set	2,6	176,2	-173,6	-531,6	0,5	-2,3	4,9	171,3	0,0
Out	3,4	193,7	-190,3	-721,9	0,1	-0,4	3,8	189,9	0,0
Nov	1,7	182,8	-181,1	-903,0	0,0	-0,1	1,8	181,0	0,0
Dez	15,2	179,3	-164,1	-1067,1	0,0	0,0	15,2	164,1	0,0
Média	66,2	152,7	-86,4	-518,8	-	-	63,3	89,4	2,9
Total/Ano	794,7	1832,1	-1037,4	-6225,7	-	-	759,3	1072,7	35,4

ANEXO J – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE MORADA NOVA-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	82,1	172,6	-90,5	-1056,9	0,0	0,0	82,1	90,5	0,0
Fev	110,5	143,9	-33,4	-1090,3	0,0	0,0	110,5	33,4	0,0
Mar	161,9	144,4	17,5	0,0	17,5	17,5	144,4	0,0	0,0
Abr	155,2	134,0	21,2	0,0	38,7	21,2	134,0	0,0	0,0
Mai	103,9	135,0	-31,1	-31,1	73,3	34,5	138,4	-3,4	0,0
Jun	59,9	122,3	-62,4	-93,5	39,2	-34,0	93,9	28,4	0,0
Jul	27,9	124,7	-96,8	-190,4	14,9	-24,3	52,2	72,5	0,0
Ago	6,3	141,9	-135,6	-326,0	3,8	-11,1	17,4	124,5	0,0
Set	2,2	151,7	-149,5	-475,5	0,9	-3,0	5,2	146,6	0,0
Out	3,4	170,5	-167,1	-642,6	0,2	-0,7	4,1	166,4	0,0
Nov	3,8	171,4	-167,6	-810,2	0,0	-0,1	3,9	167,5	0,0
Dez	24,4	180,5	-156,1	-966,4	0,0	0,0	24,4	156,1	0,0
Média	61,8	149,4	-87,6	-473,6	-	-	67,5	81,9	0,0
Total/Ano	741,5	1793,0	-1051,5	-5683,0	-	-	810,5	982,5	0,0

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	82,1	159,5	-77,4	-1086,7	0,0	0,0	82,1	77,4	0,0
Fev	110,5	130,4	-19,9	-1106,6	0,0	0,0	110,5	19,9	0,0
Mar	161,9	135,8	26,1	0,0	26,1	26,1	135,8	0,0	0,0
Abr	155,2	124,7	30,5	0,0	56,6	30,5	124,7	0,0	0,0
Mai	103,9	127,8	-23,9	-23,9	78,8	22,2	126,1	1,7	0,0
Jun	59,9	118,6	-58,7	-82,6	43,8	-35,0	94,9	23,7	0,0
Jul	27,9	132,5	-104,6	-187,2	15,4	-28,4	56,3	76,2	0,0
Ago	6,3	156,5	-150,2	-337,4	3,4	-12,0	18,3	138,3	0,0
Set	2,2	166,8	-164,6	-502,0	0,7	-2,8	5,0	161,8	0,0
Out	3,4	185,1	-181,7	-683,7	0,1	-0,6	4,0	181,2	0,0
Nov	3,8	178,4	-174,6	-858,3	0,0	-0,1	3,9	174,5	0,0
Dez	24,4	175,3	-150,9	-1009,3	0,0	0,0	24,4	150,9	0,0
Média	61,8	149,3	-87,5	-489,8	-	-	65,5	83,8	0,0
Total/Ano	741,5	1791,5	-1050,0	-5877,7	-	-	785,9	1005,6	0,0

ANEXO K – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE QUIXERAMOBIM-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	77,1	170,3	-93,2	-1031,3	0,0	0,0	77,1	93,2	0,0
Fev	100,2	140,0	-39,8	-1071,1	0,0	0,0	100,2	39,8	0,0
Mar	159,2	140,5	18,7	0,0	18,7	18,7	140,5	0,0	0,0
Abr	165,1	128,4	36,7	0,0	55,4	36,7	128,4	0,0	0,0
Mai	110,1	127,4	-17,3	-17,3	84,1	28,6	138,7	11,3	0,0
Jun	67,8	115,4	-47,6	-65,0	52,2	-31,9	99,7	15,8	0,0
Jul	34,1	121,4	-87,3	-152,3	21,8	-30,4	64,5	56,9	0,0
Ago	9,1	142,1	-133,0	-285,3	5,8	-16,0	25,1	117,0	0,0
Set	2,5	156,3	-153,8	-439,1	1,2	-4,5	7,0	149,3	0,0
Out	2,1	170,5	-168,4	-607,5	0,2	-1,0	3,1	167,4	0,0
Nov	5,8	173,9	-168,1	-775,6	0,0	-0,2	6,0	167,9	0,0
Dez	20,6	183,1	-162,5	-938,1	0,0	0,0	20,6	162,4	0,0
Média	62,8	147,4	-84,6	-448,5	-	-	67,6	79,9	0,0
Total/Ano	753,7	1769,3	-1015,6	-5382,4	-	-	811,0	958,3	0,0

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	77,1	168,4	-91,3	-1165,6	0,0	0,0	77,1	91,3	0,0
Fev	100,2	135,9	-35,7	-1201,3	0,0	0,0	100,2	35,7	0,0
Mar	159,2	140,1	19,1	0,0	19,1	19,1	140,1	0,0	0,0
Abr	165,1	124,6	40,5	0,0	59,6	40,5	124,6	0,0	0,0
Mai	110,1	127,3	-17,2	-17,2	84,2	24,6	134,7	7,4	0,0
Jun	67,8	120,1	-52,3	-69,5	49,9	-34,3	102,1	18,0	0,0
Jul	34,1	135,1	-101,0	-170,5	18,2	-31,7	65,8	69,3	0,0
Ago	9,1	168,0	-158,9	-329,4	3,7	-14,5	23,6	144,4	0,0
Set	2,5	186,3	-183,8	-513,2	0,6	-3,1	5,6	180,7	0,0
Out	2,1	204,3	-202,2	-715,4	0,1	-0,5	2,6	201,7	0,0
Nov	5,8	194,3	-188,5	-904,0	0,0	-0,1	5,9	188,5	0,0
Dez	20,6	190,9	-170,3	-1074,3	0,0	0,0	20,6	170,3	0,0
Média	62,8	158,0	-95,1	-513,4	-	-	66,9	91,0	0,0
Total/Ano	753,7	1895,4	-1141,7	-6160,4	-	-	802,9	1092,6	0,0

ANEXO L – CÁLCULO DO BHC PARA O MUNICÍPIO DE SOBRAL-CE, PELO MÉTODO DE THORNTHWAITE E PENMAN-MONTEITH.

Thornthwaite

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	111,5	159,9	-48,4	-1031,3	0,0	0,0	111,5	48,4	0,0
Fev	136,0	129,8	6,2	0,0	6,2	6,2	129,8	0,0	0,0
Mar	221,3	132,5	88,8	0,0	95,0	88,8	132,5	0,0	0,0
Abr	205,5	125,2	80,3	0,0	100,0	5,0	125,2	0,0	75,3
Mai	114,0	128,4	-14,4	-14,4	86,6	-13,4	127,4	1,0	0,0
Jun	42,6	122,0	-79,4	-93,8	39,1	-47,4	90,0	32,0	0,0
Jul	21,1	130,0	-108,9	-202,8	13,2	-26,0	47,1	83,0	0,0
Ago	4,2	145,0	-140,8	-343,6	3,2	-9,9	14,1	130,9	0,0
Set	1,6	156,5	-154,9	-498,4	0,7	-2,5	4,1	152,3	0,0
Out	2,9	170,1	-167,2	-665,6	0,1	-0,6	3,5	166,6	0,0
Nov	5,1	170,5	-165,4	-831,0	0,0	-0,1	5,2	165,3	0,0
Dez	27,3	179,2	-151,9	-982,9	0,0	0,0	27,3	151,9	0,0
Média	74,4	145,8	-71,3	-388,7	-	-	68,1	77,6	6,3
Total/Ano	893,1	1749,1	-856,0	-4663,8	-	-	817,8	931,4	75,3

Penman-Monteith

Tempo	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Meses	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	111,5	138,0	-26,5	-974,4	0,0	0,0	111,5	26,5	0,0
Fev	136,0	113,4	22,6	0,0	22,6	22,6	113,4	0,0	0,0
Mar	221,3	119,2	102,1	0,0	100,0	77,4	119,2	0,0	24,7
Abr	205,5	111,6	93,9	0,0	100,0	0,0	111,6	0,0	93,9
Mai	114,0	117,6	-3,6	-3,6	96,4	-3,6	117,6	0,1	0,0
Jun	42,6	112,2	-69,6	-73,2	48,1	-48,3	90,9	21,2	0,0
Jul	21,1	122,8	-101,7	-175,0	17,4	-30,7	51,8	71,0	0,0
Ago	4,2	149,8	-145,6	-320,6	4,1	-13,3	17,5	132,3	0,0
Set	1,6	161,3	-159,7	-480,3	0,8	-3,2	4,8	156,5	0,0
Out	2,9	176,7	-173,8	-654,0	0,1	-0,7	3,6	173,1	0,0
Nov	5,1	164,9	-159,8	-813,9	0,0	-0,1	5,2	159,7	0,0
Dez	27,3	161,3	-134,0	-947,9	0,0	0,0	27,3	134,0	0,0
Média	74,4	137,4	-63,0	-370,2	-	-	64,5	72,9	9,9
Total/Ano	893,1	1648,9	-755,8	-4442,8	-	-	774,5	874,4	118,6