INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento de Ambiente, Saúde e Segurança

Licenciatura em Geografia

GABRIEL VICTOR SILVA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E REGIME HÍDRICO DA MICRORREGIÃO DE RECIFE, PERNAMBUCO

Recife – PE
2021

GABRIEL VICTOR SILVA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E REGIME HÍDRICO DA MICRORREGIÃO DE RECIFE, PERNAMBUCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Recife, como requisito para a obtenção do grau de Licenciado em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. **Eberson Pessoa Ribeiro.**

Recife – PE
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro Cavalcante Fernandes CRB4/1666

N244c
2021 Nascimento, Gabriel Victor Silva do
Classificação Climática e Regime Hídrico da Microrregião de Recife, Pernambuco. / Gabriel Victor Silva do Nascimento . --- Recife: O autor, 2021.
65f. il. Color.

TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Ambiente, Saúde e Segurança - DASS, 2021.

Inclui Referências.

Orientador: Professor Dr. Eberson Pessoa Ribeiro.

1. Climatologia –Brasil. 2. Balanço hídrico climatológico. 3. Variabilidade. 4. Espaço Temporal. 5. Precipitação I. Título. II. Ribeiro, Eberson Pessoa Ribeiro (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 551.6981 (21ed.)

GABRIEL VICTOR SILVA DO NASCIMENTO

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA E REGIME HÍDRICO DA MICRORREGIÃO DE RECIFE, PERNAMBUCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 22 de setembro de 2021 pela Banca Examinadora:

_____

Eberson Pessoa Ribeira (IFPE/CGEO) – Orientador
Doutor em Geografia – UFPE

_____

Elvis Bergue Mariz Moreira (UFOB) – Examinador Externo
Doutor em Geografia – UFPE

_____

Enildo Luiz Gouveia (IFPE/CGEO) – Examinador Interno
Doutor em Geografia – UFPB

Recife – PE
2021

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Gildo.
A minha mãe, Ivaneide.
E minha irmã, Letícia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gildo José do Nascimento e Ivaneide Cristina da Silva, pelo amor incondicional e apoio em todas as minhas decisões. A minha irmã Letícia Gabriela, pelo amor, carinho, amizade e apoio.

A minha namorada, amiga e companheira Jailene Kelley, pelo amor, carinho, e apoio em todos os momentos.

Ao meu orientador, Eberson Pessoa Ribeiro, pelo profissionalismo, ensinamentos e contribuições para minha formação acadêmica.

“Em algum lugar, algo incrível está
esperando para ser descoberto”.

Carl Sagan

RESUMO

Investigar os períodos secos e chuvosos e suas variações intrasazonal e interanual é essencial para o planejamento urbano-ambiental e, consequentemente, para a gestão hídrica. Assim, realizou-se o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) com os objetivos de analisar as características climaticas, a variabilidade espaço-temporal da precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração potencial e real, além do regime hídrico da microrregião de Recife; e classificar os tipos climáticos da microrregião de Recife. Utilizaram-se valores médios mensais da precipitação pluviométrica da série histórica de 1967 a 2017 – dados obtidos através de oito (8) estações pluviométricas regidas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima. Os dados médios de temperatura do ar, para o mesmo período e localidades das estações, foram obtidos por meio do *software* Estima_T. Para a realização do balanço hídrico climatológico foi adotado a capacidade de água no solo de 100 mm. Os resultados indicam para a referida área que a temperatura média do ar é de 25°C, variando entre 26,4°C (verão) a 23,1°C (inverno). A precipitação diminui no sentido leste-oeste, além de possuir um período seco, agosto a março, com precipitação média mensal de 80 mm; e outro chuvoso, abril a julho, com uma média de 230 mm. Verificou-se também a variabilidade espaço-temporal dos parâmetros de evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, excedente, deficiência e reposição hídrica. Nesse sentido, observou-se diminuição gradual da ETP, ETR, EXC e reposição hídrica, bem como um aumento da DEF no sentido leste–oeste. Esses parâmetros foram importantes para compreensão da alteração de umidade no solo e para obtenção dos tipos climáticos com base nos índices de umidade, aridez, hídrico e ETP do verão.

Palavras–chave: Balanço hídrico climatológico. Variabilidade espaço-temporal. Precipitação.

ABSTRACT

Investigating dry and rainy periods and their intraseasonal and interannual variations is essential for the urban-environmental planning and, consequently, for water management. Thus, the climatic water balance was carried out by the Thornthwaite & Mather method (1955) in order to analyze the climatic characteristics, the space-time variability of the precipitation, air temperature, potential and real evapotranspiration, in addition to the water regime of the micro-region of Recife; and classify the climate types of the microregion of Recife. Average monthly rainfall values from the 1967-2017 historical series were used - data obtained from eight (8) pluviometric stations managed by the Water and Climate Agency of Pernambuco. Average air temperature data, for the same period and locations of stations, were obtained using the Estima_T software. To carry out the climatic water balance, soil water capacity of 100 mm was adopted. The results indicate that the area has average air temperature of 25°C, ranging from 26.4°C (summer) to 23.1°C (winter). Precipitation decreases in the east-west direction, with a dry period from August to March, with average monthly rainfall of 80 mm; and a rainy period, from April to July, with average of 230 mm. The space-time variability of potential evapotranspiration, real evapotranspiration, surplus, deficiency and water replacement parameters was also verified. In this sense, gradual decrease in ETP, ETR, EXC and water replacement was observed, as well as an increase of east-west DEF. These parameters were important for understanding soil moisture changes and for obtaining climate types based on summer moisture, aridity, water and ETP indices.

Keywords: Climatic water balance. Time-space variability. Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da microrregião de Recife 21
Figura 2 - Cálculo do balanço hídrico climatológico 25
Figura 3 - Climograma da microrregião de Recife 29
Figura 4 - Mapa da temperatura do ar anual da microrregião de Recife 31
Figura 5 - Mapas da temperatura do ar mensal da microrregião de Recife 32
Figura 6 - Movimento de translação da Terra, Solstícios e Equinócios 33
Figura 7 - Mapa da precipitação anual da microrregião de Recife 34
Figura 8 - Mapas da precipitação mensal da microrregião de Recife 36
Figura 9 - Mapa da evapotranspiração potencial anual da microrregião de Recife 37
Figura 10 - Mapas da evapotranspiração potencial mensal da microrregião de Recife 39
Figura 11 - Mapa da evapotranspiração real da microrregião de Recife 40
Figura 12 - Mapas da evapotranspiração real mensal da microrregião de Recife 41
Figura 13 - Gráfico do balanço hídrico normal mensal 42
Figura 14 - Mapa do excedente hídrico da microrregião de Recife 44
Figura 15 - Mapas do excedente hídrico mensal da microrregião de Recife 45
Figura 16 - Mapa da deficiência hídrica da microrregião de Recife 46
Figura 17 - Mapas da deficiência hídrica mensal da microrregião de Recife 47
Figura 18 - Mapa da reposição hídrica da microrregião de Recife 48
Figura 19 - Mapas da reposição hídrica mensal da microrregião de Recife 50
Figura 20 - Gráfico de reposição, retirada, excedente e déficit hídrica mensal 51
Figura 21 - Gráfico de deficiência e excedente hídrico 52
Figura 22 - Mapa do índice de aridez da microrregião de Recife 53
Figura 23 - Mapa do índice de umidade da microrregião de Recife 54
Figura 24 - Mapa da classificação climática da microrregião de Recife 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa 22
Tabela 2 - Valores do fator de correção para o cálculo da evapotranspiração potencial em função da latitude e mês do ano 24
Tabela 3 - Classificação climatática de Thornthwaite-Mather (1955) baseado no índice de hídrico 26
Tabela 4: Subtipos climáticos de Thornthwaite-Mather (1955) baseados nos índices de aridez e hídrico..... 27
Tabela 5 - Subtipos climáticos de Thorntwaite-Mather (1955) baseados no índice térmico anual e na evapotranspiração potencial (ETP) e suas concentrações de ETP verão..... 27
Tabela 6 - Balanço Hídrico Climatológico da microrregião de Recife 28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Objetivos 14
1.1.1 Objetivo Geral 14
1.1.2 Objetivos Específicos 14
2 REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1 Balanço Hídrico Climatológico 15
2.2 Classificação climática 18
3 MATERIAL E MÉTODOS 21
3.1 Caracterização da área 21
3.2 Base climatológica 22
3.3 Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite-Mather (1955) 23
3.4 Classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955) 26
3.5 Base cartográfica 27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 28
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 57
REFERÊNCIAS 59

1 INTRODUÇAO

A região Nordeste do Brasil (NEB) em sua maior parte sofre com escassez hídrica, sendo essa caracterizada por uma deficiência de precipitação durante um período prolongado que afeta as práticas sociais. Contudo, em alguns locais, o problema não é o total anual de precipitação pluviométrica, que em média é elevado, e sim, a má distribuição durante o ano. Dessa forma, a análise do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) em regiões distintas do NEB se faz necessário pela racionalidade no uso dos recursos hídricos (COUTINHO et al., 2015; SILVA et al., 2017).

O estudo do comportamento da precipitação pluviométrica, como: as quantidades relativas, o regime sazonal e as intensidades das chuvas (volume/duração) são algumas das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente. As alterações do volume da precipitação pluviométrica em determinada região, são proporcionadas pela variabilidade climática típica do local, por isso é relevante, que tratem a temática de forma qualitativa e quantitativa (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2006; MARCUZZO; GOULARTE, 2013).

Conforme Jesus et al. (2017) devido à demanda por recursos hídricos, compreender a atuação das variáveis de precipitação e evapotranspiração é essencial para uma região. Vários estudos indicam que a escassez de água, intensificada com a má gestão ambiental, já se tornou realidade em algumas regiões do Brasil e se intensificará em todo o mundo. A água, considerada essencial para a sobrevivência humana, é amplamente utilizada na produção de energia e processos industriais (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2018).

As medições e médias dos parâmetros meteorológicos representam o início da avaliação climática. Para analisar o clima de uma região é necessário a utilização de um sistema de classificação climática (YILMAZ; CICEK, 2016). Sendo assim, compreender o clima local para avaliar os recursos hídricos é um fator essencial para a sociedade, pois diversos elementos meteorológicos afetam a variação e a disponibilidade dos recursos hídricos. É impossível determinar se o clima é úmido ou seco apenas conhecendo os dados de precipitação. É necessário também entender se a quantidade de precipitação é maior ou menor que a quantidade de água necessária para a evapotranspiração (HOLANDA, et al., 2021).

Dessa forma, a análise dos padrões climáticos pode ser realizada para cada variável climática, ou os dados podem ser agregados utilizando certo tipo de classificação climática que integra várias características climáticas (BELDA, et al., 2014). Modelos climáticos globais e regionais são utilizados para quantificar a resposta do clima as atividades humanas.

O procedimento comumente aplicado para verificação de modelos climáticos consiste em uma comparação sistemática entre distribuições espaciais de dados estatísticos anuais, sazonais ou mensais de variáveis climáticas (CASTRO, et al., 2007).

O BHC é calculado para áreas que há disponibilidade de dados climáticos. Em seguida, através de técnicas de interpolação espacial, os elementos do BHC são especializados para representar sua distribuição em uma grande área, em um processo denominado "cálculo-interpolação" (CECÍLIO, et al., 2012). Dessa forma, o monitoramento de períodos chuvosos e secos é essencial para a gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, como também em áreas úmidas. Assim, "é de capital importância dispor–se de instrumento prático de auxílio à tomada de decisões, notadamente nos períodos de secas" (FREITAS, 2005, p. 84).

A medição em campo da umidade do solo reflete as condições reais específicas, mas geralmente tem grande variabilidade, requer um grande número de amostras e o custo de avaliação é elevado. Assim, a estimativa do teor de umidade de um solo, por meio de modelos matemáticos estatísticos é considerada uma alternativa acessível e eficaz. Sendo assim, dentre os modelos existentes, o modelo de Thornthwaite e Mather (1955) é um dos mais citados e utilizados para monitoramento da água no solo (SOUZA FILHO; GOMES, 2007).

O BHC é um modelo de verificar a variação do armazenamento de água no solo (ARM). É também uma das formas mais utilizadas para estimar a deficiência, excedente hídrico, reposição e retirada de água no solo, evapotranspiração potencial, além de estimar a evapotranspiração real (CARVALHO et al., 2011; CECÍLIO, et al., 2012; WERLANG; WERLANG, 2021). É uma técnica de classificação climática de base estática que se distingue da classificação de base dinâmica, tornando-se fundamental na definição dos tipos de atividades com maior perspectiva de êxito (NASCIMENTO; RIBEIRO; MOREIRA, 2020).

O BHC de uma área muitas vezes não tem grandes alterações naturais, mas o aumento populacional interfere nas condições e variabilidade climática, atinge principalmente elementos como a precipitação e evapotranspiração, componentes esses, sensíveis no cômputo do BHC (HORIKOSHI; FISCH, 2007). Com isso, a estimativa do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é imprescindível pela necessidade da racionalidade no uso dos recursos hídricos. Silva; Moura; Klar (2014) justificam a utilização do BHC para Pernambuco por existir uma escassez de estudos climáticos que não consideram os diferentes regimes pluviais. Portanto, o BHC se torna uma ferramenta importante de conhecimento do regime hídrico no sistema, fundamental para o planejamento territorial urbano (JESUS, 2015).

MEDEIROS el al. (2013) utilizam o BHC para o município de Barbalha – CE durante o período de 1961 a 1990, com o objetivo de demonstrar a aptidão climática para o cultivo de bananeira. Já Silva; Nascimento (2020) realizaram o BHC para os municípios da microrregião de Guarabira – PB para a série histórica de 2000 a 2019, tendo como meta analisar o regime hídrico e classificar o clima de cada um deles. Enquanto autores como Yilmaz; Cicek, (2016) realizam o BHC para caracterizar o regime hídrico da Turquia e classificar o clima por meio dos índices climáticos de Thornthwaite e Mather (1955). Dessa forma, diante do reconhecimento das dificuldades de gestão urbano-ambiental da microrregião de Recife, a pesquisa teve o intuito de trazer evidências que servirão como base para a elaboração de medidas para prevenção e mitigação de alagamentos, inundações e deslizamentos de barreiras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Analisar as características climáticas e o regime hídrico da microrregião de Recife.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) mensal e anual da microrregião de Recife pelo método de Thornthwaite e Mather (1955);
- Analisar a variabilidade espaço-temporal da temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial e real, além do excedente, deficiência e reposição hídrica da microrregião de Recife; e
- Classificar os tipos climáticos da microrregião de Recife.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Balanço Hídrico Climatológico

O Balanço Hídrico Climatólogico (BHC) desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é um método que tem como objetivos a classificação climática por meio da contabilização dos índices de aridez, umidade e hídrico, bem como determinar o zoneamento agroclimático. É empregado também para caracterizar a disponibilidade hídrica regional, períodos de cheias, secas e seus efeitos (SILVA; BRACHT, 2010). Conforme Carvalho et al. (2011) o BHC é frequentemente empregado na escala temporal (mensal e anual) elaborado a partir das normais climatológicas de evapotranspiração potencial e precipitação pluviométrica, utilizadas para estimar a evapotranspiração real, a deficiência e excedente hídrico, a reposição e retirada hídrica do solo de uma região, bem como suas variações estacionais e espaciais.

O BHC é resultado da aplicação do princípio de conservação de massa em hidrologia. Esse princípio afirma que, para qualquer volume arbitrário (aleatório) e durante qualquer intervalo de tempo, a diferença entre o total de entrada e saída será equilibrada por mudanças no armazenamento de água (ARM). Dessa forma, considera como componente de entrada em seu sistema a precipitação e de saída a evapotranspiração (AL-SUDANI, 2020a).

Para Portilho et al. (2011) o solo pode ser compreendido como um reservatório de água em que as entradas e saídas podem ser contabilizadas por um cômputo que atende pelo princípio de Conservação de Massa em um volume de solo vegetado, sendo as entradas de água no solo a precipitação pluvial; irrigação e ascensão capilar; enquanto as saídas são: a evapotranspiração e a percolação. Passos; Zambrzycki; Pereira (2016) ressaltam que o BHC ainda pode ser utilizado para o acompanhamento do armazenamento de água no solo (ARM) em tempo real ou em um determinado período já ocorrido. Nesse sentido, deixa de ser um balanço cíclico e passa a retratar sequencialmente os valores de entradas e saídas de água no sistema solo-planta-atmosfera.

Ao estabelecer uma capacidade de água disponível (CAD) adequado para o complexo vegetação-solo, o método BHC pode estimar a evapotranspiração real (ETR), a deficiência hídrica (DEF), o excesso hídrico (EXC) e a mudança no armazenamento da umidade do solo (ARM). Dessa forma, o ARM e variáveis de alteração da umidade do solo (ALT) representam o equilíbrio entre a entrada e a saída de água (CORAL; TOMMASELLI; LEAL, 2015).

Portanto, o BHC é uma forma eficaz para se realizar a estimativa do potencial hídrico de uma localidade por considerar fatores edafoclimáticos (temperatura do ar, tipo de solo, precipitação, umidade do ar, relevo e altitude), os quais interferem no armazenamento de água no

solo, dependendo de suas características físicas, principalmente, associadas à precipitação e à evapotranspiração (LOPES; MELO; LEAL, 2017). Dados sobre evapotranspiração potencial, precipitação e capacidade de retenção de água no solo (CAD) permitem o cálculo do balanço hídrico sazonal. Sendo assim, a quantidade de água disponível para as plantas em um local é estabelecida pela combinação não linear de suprimento de água, armazenamento de água no solo, demanda e perda hídrica (LUTZ; VAN WAGTENDONK; FRANKLIN, 2010).

No método do BHC proposto por Thornthwaite e Mather (1955) o solo pode ser considerado um reservatório com a quantidade máxima de retenção de água. Nesse sistema a água entra no solo por meio da infiltração. Para fazer frente às condições atmosféricas, a perda potencial de água (demanda atmosférica) é representada pela evapotranspiração potencial (ETP) e da CAD. Nos meses de seca, as perdas de água tornam-se potenciais cumulativos, conhecidos como "números negativos cumulativos" (NEG) (CORAL; TOMMASELLI; LEAL, 2015).

A CAD é a capacidade máxima de água que o solo pode suportar em função do sistema radicular da vegetação e da textura do solo, usado como uma referência para a quantidade de água que pode ser retida sob um certo tipo de solo e uma certa cobertura vegetal. Se a quantidade de água que entra no sistema (solo) for maior que seu CAD, o excesso de hidríco pode ser perdido devido à gravidade (suprimento de água subterrânea) ou escoamento superficial (GUTIÉRREZ et al., 2013; CORAL; TOMMASELLI; LEAL, 2015).

A evapotranspiração é um dos processos hidrológicos terrestres mais ativos, com cerca de 65% da precipitação sendo evaporada e transpirada. É responsável por transferir energia (calor) e massa (vapor d'água) entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo o mecanismo mais ativo que conecta a atmosfera, a hidrosfera, a litosfera e a biosfera (GHARBIA et al., 2018).

Muitas questões em hidrologia, agronomia, silvicultura, modelagem de ecossistema, gerenciamento de terras e planejamento de recursos hídricos requerem estimativas de evapotranspiração. Estimativas confiáveis de evapotranspiração são essenciais para melhorar os modelos de circulação atmosférica. Assim, devido à complexa interação entre os vários componentes do sistema terra-planta-atmosfera, a evapotranspiração pode ser o mais difícil de todos os componentes do ciclo hidrológico (XU; SINGH, 2005).

Alterações na evapotranspiração impulsionadas principalmente pela variabilidade térmica em conjunto com a precipitação pluviométrica têm função essencial na variação do equilíbrio climático de um território e consequentemente na variação hidrológica. Dessa forma, os parâmetros de temperatura, precipitação e evapotranspiração são fundamentais nos ciclos de energia e massa no sistema atmosférico (BANDOC; PRĂVĂLIE, 2015).

Thornthwaite (1948) introduziu pela primeira vez o termo “evapotranspiração potencial” (ETP) após investigar a precipitação e o consumo de água em vários estados dos Estados Unidos. A evapotranspiração potencial representa a demanda de evaporação atmosférica, ou seja, a quantidade de água que pode ser transferida para o ar ou água da superfície terrestre. A ETP corresponde a soma da evaporação da superfície do solo e da transpiração da planta, representando o processo de transporte de água da superfície terrestrede volta para a atmosfera (CAMARGO; CAMARGO, 2000; XIANG et al., 2020).

Considerando que vários métodos são recomendados para esse fim, uma das questões para a tomada de decisão, neste caso, é selecionar o método adequado. Portanto, a ETP pode ser medida diretamente por um lisímetro (método mais preciso), no entanto, como o estabelecimento desse lisímetro é muito caro e os dados estatísticos desse método geralmente não estão disponíveis, métodos empíricos como o de Thornthwaite (1948) supre a necessidade para a estimativa da ETP (AHMADIPOUR; SHAIBANI; MOSTAFAVI, 2019).

Após a precipitação, a evapotranspiração é o maior componente do orçamento hidrológico terrestre, por isso é essencial para a avaliação dos recursos hídricos. Devido às complexas interações meteorológicas e fatores específicos de localização, a evapotranspiração é extremamente difícil de quantificar. Com isso, a modelagem do BHC requer uma estimativa espacial da ETP de toda a área em condições ideais sem ser limitada por fatores como a umidade do solo. A evapotranspiração inclui dois processos que ocorrem simultaneamente no sistema solo-planta-atmosfera, evaporação direta da água da superfície da terra e transpiração que ocorre nas folhas das plantas (GHARBIA et al., 2018).

A evapotranspiração potencial, que representa a evaporação máxima em uma determinada área, desempenha papel importante na avaliação das necessidades de água das culturas, secas regionais e condições de inundação e outros fatores de avaliação de gerenciamentos dos recursos hídricos (LI et al., 2017). Segundo Xiang et al. (2020) a evapotranspiração real (ETR) é uma parte importante do BHC e tem sido amplamente utilizada em muitas áreas do conhecimento, como agricultura, climatologia, meteorologia, ecologia e ciências ambientais.

A ETP pode ser estimada com base na temperatura do ar média mensal, embora muitos estudos subestimem este método, ele é aceito globalmente. A ETP representa a perda de água quando há excesso hídrico na área, enquanto a evapotranspiração real pode ser determinada quando a quantidade de água é limitada. Quando a evapotranspiração potencial é menor que a chuva, a evapotranspiração real é igual a potencial resultando em excesso de água (excedente hídrico), e quando a ETP é maior que a precipitação, a ETR será igual à precipitação provocando déficit hídrico (AL-SUDANI, 2020ab).

Assim, a ETR é definida como a perda de água evaporativa de um local coberto por uma cultura padrão hipotética, sendo limitada pela quantidade de água atualmente disponível. Assim pode ser considerada uma representante da produtividade primária líquida do local, pois a ETR representa a disponibilidade instantânea de energia e água utilizável (LUTZ; VAN WAGTENDONK; FRANKLIN, 2010).

Martins et al. (2020) definem excedente hídrico (EXC) como a relação entre precipitação e ETP. Assim, o EXC é a quantidade de precipitação que ultrapassa a demanda de evapotranspiração (HENDRICKS, 2018). Dessa forma, quando o solo atinge a CAD, será considerado EXC (PASSOS, ZAMBRZYCKI, PEREIRA, 2017). O período seco provoca deficiência hídrica no solo. Considera-se ainda, que a DEF é o resultado (negativo), representado pela relação entre a ETP e ETR, em que o total de água que entra no sistema por meio da precipitação é menor que a quantidade total de evapotranspiração. (GALVANI, 2008; SOUZA et al., 2014). Sendo assim, no início do período úmido após a precipitação superar a demanda de ETP, tornando a ETP igual a ETR, o saldo será empregado na reposição hídrica do solo até que esse atinja sua capacidade de armazenamento de água (PASSOS, ZAMBRZYCKI, PEREIRA, 2017).

Assim, o BHC formulado por Thornthwaite-Mather (1955) determina o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo, utilizando as informações de precipitação total mensal (mm), evapotranspiração potencial total mensal (mm) e CAD de uma região, possibilitando uma visão geral dos ganhos, perdas e armazenamento da água pelo solo, além de possibilitar a representação da variabilidade espacial e temporal do regime hídrico (MONTEIRO et al., 2011).

2.2 Classificação climática

Com o desenvolvimento técnico e aperfeiçoamento de instrumentos, como: pluviômetro, termômetro e barômetro, tornou-se possível a obtenção de informações para compreender o clima. Durante o século XIX foi possível reunir um grande número de informações climáticas para realizar generalizações regionais do clima terrestre (SILVA et al., 2006; BARRY; CHORLEY, 2013). Para Ayoade (2011) apesar de dois lugares na superfície terrestre não possuírem climas iguais é possível definir áreas em que o clima é relativamente uniforme.

A climatologia visa compreender os diversos climas da Terra. Um de seus desafios para isso é sistematizar o grande número de dados meteorológicos e climáticos e convertê-los em medidas estatísticas que deem parâmetros para o agrupamento das características da atmosfera

sobre lugares distintos. Isso permitirá uma compreensão sintética das características climáticas de determinado espaço geográfico (TERASSI; SILVEIRA, 2013). As condições climáticas expressas pela disponibilidade hídrica e a energia condicionam processos de formação de solos, formas de relevo, recursos hídricos e a distribuição da biodiversidade (ALMEIDA et al., 2014).

Os diferentes tipos climáticos são determinados pelas diferentes combinações dos processos atmosféricos, os quais produzem um grande número de tipos climáticos (MEDEIROS, 2019). De acordo com Fernandes et al. (2020) classificar o clima se faz necessário para fornecer características gerais da configuração climática de qualquer região. Sendo assim, entender a dinâmica do clima é essencial para a pesquisa da paisagem, por exemplo, porque o clima é um catalisador da dinâmica natural. É o responsável por esculpir formas de relevo através do processo de intemperismo e erosão. Dessa forma, compreender as condições climáticas é essencial para entender a dinâmica ambiental, base das atividades de produção humana (OLIVEIRA; CRUZ, 2020).

Há uma variedade de sistemas de classificação climática (SCC). O SCC de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955) usam índices climáticos (índice de aridez, hídrico e úmido) com base no BHC, constituem-se como os dois métodos mais clássicos de regionalização do clima (SILVA; MOURA; KLAR, 2014; HOLANDA; MEDEIROS, 2019). Esse SCC se destaca porque as plantas não são analisadas como um sistema instrumental que integra os elementos climáticos, mas como um meio físico de transporte de água do solo para a atmosfera. Portanto, o tipo climático é definido como seco ou úmido, mas está relacionado à demanda hídrica das plantas, ou seja, depende do balanço hídrico (MARTINS et al., 2020).

Thornthwaite também atribuiu uma contribuição significativa ao introduzir a ETP como um elemento de classificação climática. Para ele, é impossível descrever o clima como seco ou úmido, analisando apenas a precipitação, deve-se também correlacionar com as necessidades hídricas ou demanda de água necessária para atender a ETP. Além disso, sua preocupação em comum com Köppen era considerar o clima ecológico, mas representou um esforço maior para sistematizá-lo através de fórmulas de EPT e ETR, constituindo um aspecto inovador e construtivo da classificação climática (BARROS et al., 2012)

Este método de classificação climática tem várias vantagens importantes sobre o método baseado em Köppen. Primeiramente, utiliza o coeficiente de umidade (índice de umidade - Iu), que quantifica a umidade do ambiente, indicando a entrada (precipitação) e a saída (evapotranspiração) da água. Em segundo lugar, utiliza um fator térmico (que é um melhor indicador de processos ecológicos dependentes do clima envolvendo a vegetação), pois a ETP é

um indicador do consumo potencial de água, logo, é um indicador da produtividade potencial da vegetação (ELGUINDI et al., 2013).

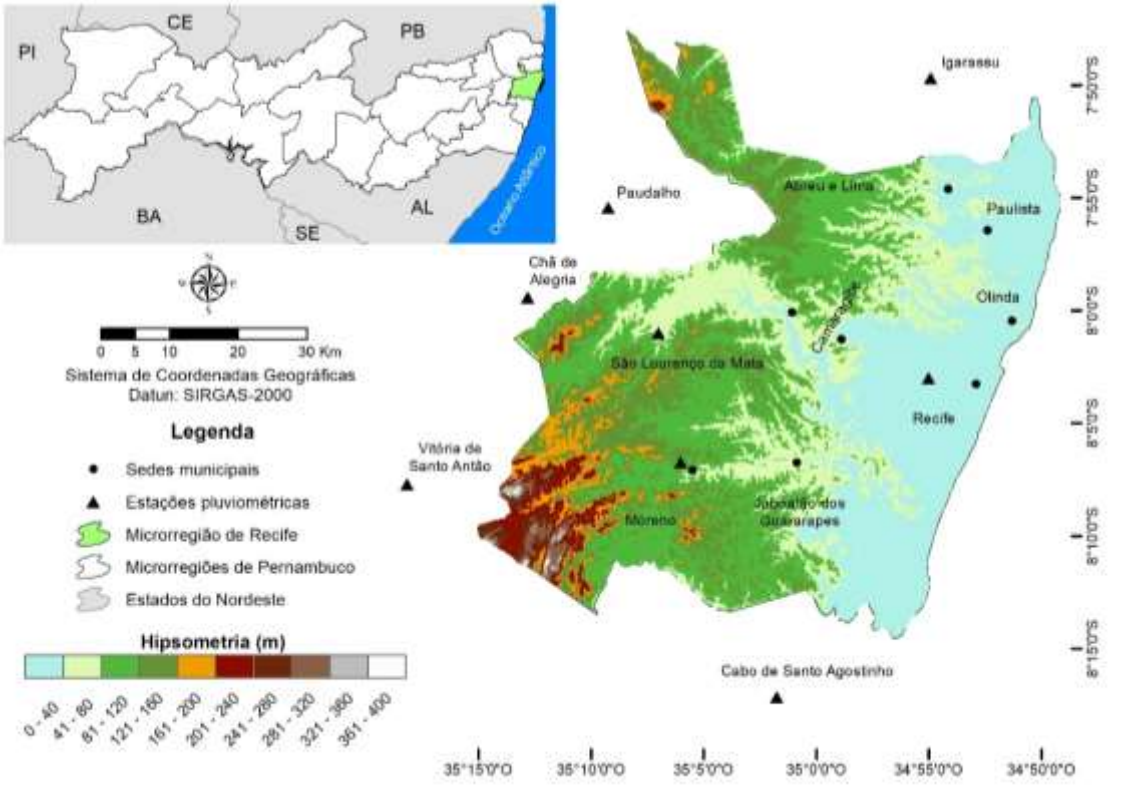
Segundo Feddema (2005) e Grundstein (2008) O sistema de classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) também é caracterizado por ser mais sistemático e racional em seus intervalos de classes uniformes. Esses intervalos regulares, permitem uma descrição e interpretação mais fácil das características de umidade e de temperatura de cada região. Assim, a classificação climática proposta por Thornthwaite e Mather (1955) representa uma ferramenta adequada e integrada para a validação de modelos climáticos e para a análise de simulações de mudanças climáticas futuras (BELDA, et al., 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

A área de estudo refere-se a microrregião de Recife, localizada na mesorregião Metropolitana do Recife, na qual compõe os municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata (PERNAMBUCO, 2020). A Figura 1 representa a localização espacial da microrregião que foi analisada, bem como as estações pluviométricas que foram utilizadas na presente pesquisa.

Figura 1 – Localização da microrregião de Recife



Fonte: O autor (2020).

Notas: Base de dados do IBGE.

A população da microrregião de Recife de acordo com o senso demográfico realizado no ano de 2010 é de 3.259.055 milhões. É estimado que a população da microrregião no ano de 2021 seja de 3.363.643 milhões. A área territorial é de 1.253,767 km². Enquanto a densidade demográfica é de 25.931,18 hab/km² seguindo dados do senso demográfico do ano de 2010 (IBGE, 2021). Esta região é composta por feições geológicas de planícies costeiras descontinuas, com áreas de acumulação fluvio-marinha, falésias e estuários. O relevo é

caracterizado por áreas de morros contínuos, tabuleiros costeiros sedimentares, colinas da Zona da Mata, planícies costeiras, planalto da Borborema, praias e restingas, sendo as planícies alagadiças sujeitas a invasões das marés. Enquanto a vegetação é constituída pela floresta tropical atlântica, manguezais, restingas (PERNAMBUCO, 2021).

3.2 Base climatológica

Os elementos de precipitação pluviométrica e temperatura média do ar constituíram elementos climatológicos para a elaboração dos parâmetros pesquisados. Logo, foram utilizados nesta pesquisa os valores médios anuais da precipitação da série histórica de 1967 a 2017 de 8 estações pluviométricas distribuídas na microrregião. Os dados foram obtidos por meio da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Na Tabela 1 estão as informações das estações pluviométricas utilizadas.

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa

Nº	Código	Município / posto	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	205	Moreno	-8,11222	-35,100278	92
2	30	Recife (Várzea)	-8,05	-34,916667	5
3	363	São Lourenço da Mata	-8,01667	-35,116667	80
4	100	Igarassu	-7,82806	-34,915	22
5	112	Cabo de Santo Agostinho	-8,28583	-35,028889	18
6	98	Paudalho	-7,92389	-35,153889	69
7	522	Chã de Alegria	-7,99028	-35,213333	100
8	26	Vitória de Santo Antão	-8,12833	-35,302778	165

Fonte: O autor (2020).

Salienta–se que foi realizado o preenchimento de falhas nas séries históricas das estações pluviométricas que apresentarem ausência de dados. Para o preenchimento em falta nas séries empregar–se–á o Método da Ponderação Regional (MPR) de Bertoni e Tucci (2001), expressa na Equação 1:

$$Y = 1/3.\ (x1/xm1 + x2/xm2 + x3/xm3).\ ym \qquad (1)$$

em que: Y é a precipitação do posto a ser estimado; x1, x2 e x3 são as precipitações correspondentes ao mês ou ano que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas; xm1, xm2 e xm3 são precipitações médias nas três estações vizinhas; e ym como a precipitação média do ponto a ser estimado.

Já para a obtenção dos dados médios anuais de temperatura do ar das estações foi empregado o software Estima_T, o qual estima temperaturas do ar na Região Nordeste do Brasil

por meio de regressões múltiplas em função das coordenadas locais: longitude, latitude e altitude (CAVALCANTI; SILVA; SOUSA, 2006). Disponível em http://www.dca.ufcg.edu.br/download/estimat.htm.

3.3 Balanço Hídrico Climatológico pelo método de Thornthwaite-Mather (1955)

O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) foi calculado pelo método de Thornthwaite-Mather (1955) no qual se adotou a capacidade de água disponível no solo (CAD) em 100 mm. Essa capacidade é comumente utilizado para vegetação em geral, culturas perenes e para estudos de classificação climática (CAMPOS; SILVA, 2010; CECÍLIO et al., 2012). A CAD a 100 mm pode ser empregado em diversos tipos de solo, contudo "depende da comunidade vegetal presente, já que plantas com sistema radicular raso explorarão um volume de solo menor que aquelas com sistema radicular profundo" (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 431).

Utilizou-se como dados de entrada para o BHC as médias mensais da precipitação e da evapotranspiração potencial. A estimativa da evapotranspiração potencial corrigida consiste no cálculo da Equação 2 pelo método de Thornthwaite (1948). Em que: ETP é a evapotranspiração potencial corrigida; f é o fator de correção em função da latitude e mês do ano (Tabela 2); t é a temperatura média mensal (ºC); I é o índice de calor anual; e "a" uma constante que varia de local para local. O índice de calor anual foi obtido pela Equação 3; sendo "a" uma função de I; também é um índice térmico regional calculado pela Equação 4.

$$\mathrm{ETP} = \mathrm{f}.16((10.\mathrm{t})/\mathrm{I})\text{^}\mathrm{a} \qquad (2)$$

$$\mathrm{I} = \sum\nolimits_{-}1\text{^}12[\left(\frac{\mathrm{t}}{5}\right)^{1.514}] \qquad (3)$$

$$\mathrm{a} = 6{,}75.10^{-7}.\mathrm{I}^3 - 7{,}71.10^{-5}.\mathrm{I}^2 + 1{,}7292.10^{-2}.\mathrm{I} + 0{,}49239 \qquad (4).$$

Tabela 2 – Valores do fator de correção para o cálculo da evapotranspiração potencial em função da latitude e mês do ano

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0	1,033	0,933	1,033	1,000	1,033	1,000	1,033	1,033	1,000	1,033	1,000	1,033
2ºS	1,042	0,938	1,034	0,996	1,025	0,991	1,024	1,028	0,999	1,037	1,008	1,043
4ºS	1,051	0,943	1,035	0,993	1,018	0,981	1,016	1,022	0,998	1,041	1,015	1,053
6ºS	1,060	0,948	1,036	0,989	1,010	0,971	1,007	1,017	0,997	1,045	1,023	1,063
8ºS	**1,069**	**0,953**	**1,037**	**0,985**	**1,002**	**0,962**	**0,998**	**1,011**	**0,996**	**1,049**	**1,031**	**1,073**
10ºS	1,078	0,958	1,038	0,981	0,994	0,952	0,988	1,006	0,995	1,054	1,039	1,083

Fonte: Adaptado de Thornthwaite (1948).

Para obtenção da evapotranspiração potencial corrigido, realizou–se as etapas seguintes para a obtenção do BHC pelo modelo proposto por Thornthwaite-Mather (1955). Primeiramente, foi calculada a estimativa do armazenamento de água no solo (ARM) através dos critérios das Equações 5 e 6 para as estações secas e para as estações chuvosas pela Equação 7, neste último caso o ARM constituiu primeiro cálculo:

$$\text{Se NegAc} = 0 \quad \text{ARM} = \text{CAD} \tag{5}$$

$$\text{Se NegAc} < 0 \quad ARM = CAD\ \text{e}^{[\text{NegAc/CAD}]} \tag{6}$$

$$\text{ARM}_{\text{m}} = \text{ARM}_{\text{m}-1} + \ (\text{P} - \text{ETP})_{\text{m}} \tag{7}.$$

Sendo: “m” referente ao mês analisado; P – ETP é a diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP); NegAc é o parâmetro negativo acumulado, o qual foi avaliado pelas Equações 8 e 9 para estações secas e pela Equação 10 para as estações chuvosas:

$$\text{Se P} - \text{ETP} \geq 0 \quad \text{NegAc} = 0 \tag{8}$$

$$\text{Se P} - \text{ETP} < 0 \quad NegAc = \text{NegAc}_{\text{m}-1} + \ (\text{P} - \text{ETP}) \tag{9}$$

$$\text{NegAc} = \text{CAD In (ARM/CAD)} \tag{10}.$$

Em seguida avaliou–se a evapotranspiração real (ETR) pelas Equações 11 e 12:

$$\text{Se (P} - \text{ETP)} \geq 0 \quad \text{ETR} = \text{ETP} \tag{11}$$

$$\text{Se (P} - \text{ETP)} < 0 \quad ETR = P - ALT \tag{12}.$$

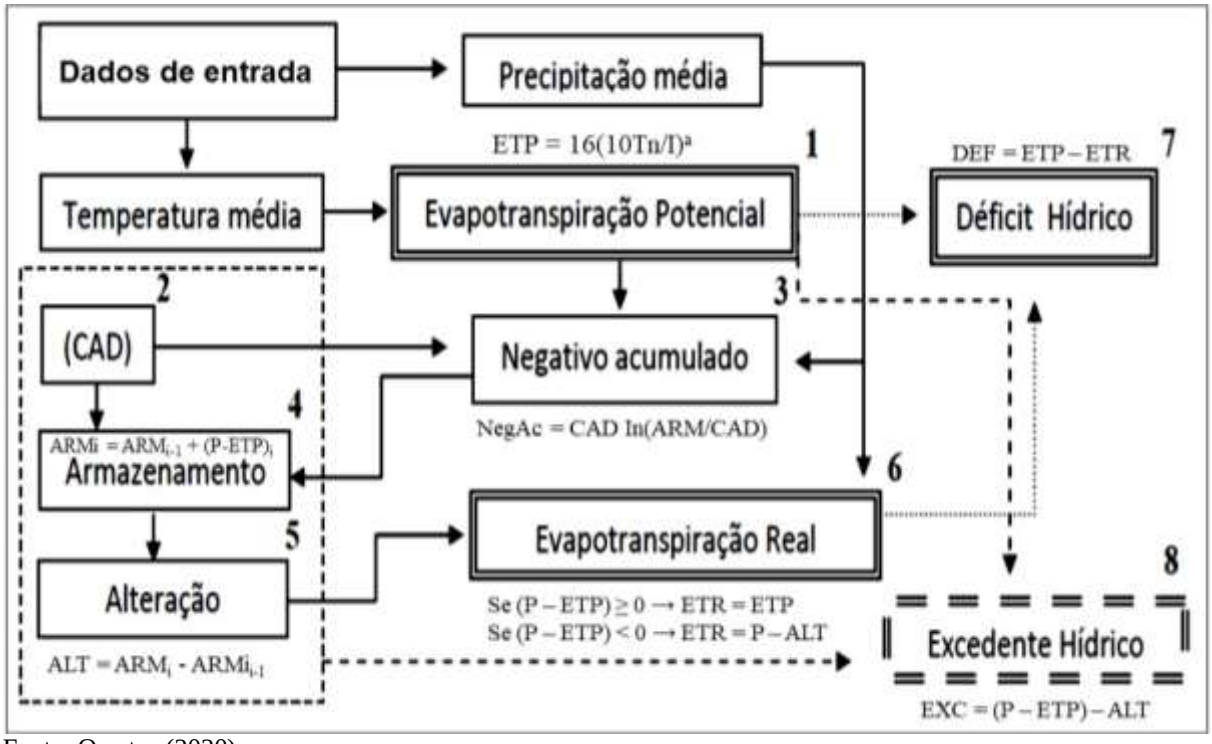
A alteração da umidade do solo (ALT) foi estimada pela equação: ALT = ARMM - ARMM-1. A partir desses dados pode-se avaliar a deficiência hídrica (DEF) pela diferença entre evapotranspiração potencial (ETP) menos a evapotranspiração real (ETR). Enquanto que para o excedente hídrico (EXC) foi empregado o cômputo EXC = (P – ETP) – ALT apenas para os valores positivos, em que (P – ETP) > 0 e ARM = CAD. Foi aplicado a importância zero para os valores negativos. Por fim, avaliou–se a estimativa de reposição (R) por meio das Equações 13 e 14:

$$\text{Se ALT} \leq 0 \qquad \text{R} = \text{ETR} \tag{13}$$

$$\text{Se ALT} > 0 \qquad R = ETR + ALT \tag{14}.$$

O BHC pelo método de Thornthwaite-Mather (1955) pode ser visualizado de forma genérica pelo Fluxograma 1.

Figura 2 – Cálculo do balanço hídrico climatológico



Fonte: O autor (2020).

Notas: Adaptado de Cronemberger et al. (2011, p.5746).

Legenda: Tn = Temperatura mensal do ar; I = Índice térmico; a = constante que varia em função de I; ETP = Evapotranspiração potencial; P = Precipitação; P-ETP = Quantidade de água que permanece no solo (Precipitação - Evapotranspiração potencial); CAD = capacidade de água disponível; NegAc = Negativo Acumulado; ARM = Armazenamento de água no solo; ALT = Alteração da umidade do solo; ETR = Evapotranspiração real; DEF = Deficiência hídrica; e EXC = Excedente hídrico.

3.4 Classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955)

Com o cômputo do BHC foi possível obter os índices climáticos. Esses têm como finalidade a caracterização climática, sendo o Índice de umidade (Iu) adquirido pela equação 15; o Índice de Aridez (Ia) pelo cálculo 16; e o Índice hídrico (Ih), também chamado de Índice Efetivo de Umidade (Im), pela apuração 17:

$$\mathrm{Iu} = \left(\frac{\mathrm{EXC}}{\mathrm{ETP}}\right) 100 \qquad (15)$$

$$\mathrm{Ia} = \left(\frac{\mathrm{DEF}}{\mathrm{ETP}}\right) 100 \qquad (16)$$

$$\mathrm{Ih} = \mathrm{Iu} - \mathrm{Ia} \qquad (17).$$

Calculados esses índices pode–se realizar a caracterização climática da referida microrregião. A partir do índice de hídrico identificou–se o tipo climático (Tabela 3), na sequência os seus subtipos climáticos com base nos índices de aridez e hídrico (Tabela 4) e as variações térmicas (índice térmico) e das evapotranspirações potenciais (ETP) anual e de verão (Tabela 5); nesta última tabela a classificação é realizada basicamente pela ETP anual e pela porcentagem da ETP de verão.

Tabela 3 – Classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955) baseado no índice hídrico

Tipos climáticos		Índice hídrico (Ih)
A	Superúmido	100 ≤ Ih
B_4	Úmido	80 ≤ Ih < 100
B_3	Úmido	60 ≤ Ih < 80
B_2	Úmido	40 ≤ Ih < 60
B_1	Úmido	20 ≤ Ih < 40
C_2	Subúmido	0 ≤ Ih < 20
C_1	Subúmido seco	-33,3 ≤ Ih < 0
D	Semiárido	-66,7 ≤ Ih < -33,3
E	Árido	-100 ≤ Ih< -66,7

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

Tabela 4 – Subtipos climáticos de Thornthwaite-Mather (1955) baseados nos índices de aridez e hídrico

Climas úmidos (A, B_4, B_3, B_2, B_1 e C_2)		(Ia)	Climas secos (C_1, 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
s_2	grande deficiência no verão	> 33,3	s_2	grande excesso no inverno	> 20
w_2	grande deficiência no inverno	> 33,3	w_2	grande excesso no verão	> 20

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

Tabela 5 – Subtipos climáticos de Thornthwaite-Mather (1955) baseados no índice térmico anual e na evapotranspiração potencial (ETP) e suas concentrações de ETP verão

Tipos climáticos		Índice térmico (It) (ETP anual)	Subtipo climático	Concentração da ETP no verão (%)
A’	Megatérmico	≥ 1140	a’	< 48,0
B'_4	Mesotérmico	997 – 1140	b'_4	48 – 51,9
B'_3	Mesotérmico	855 – 997	b'_3	51,9 – 56,3
B'_2	Mesotérmico	712 – 855	b'_2	56,3 – 61,6
B'_1	Mesotérmico	570 – 712	b'_1	61,6 – 68,0
C'_2	Microtérmico	427 – 570	c'_2	68,0 – 76,3
C'_1	Microtérmico	285 – 427	c'_1	76,3 – 88,0
D’	Tundra	142 – 285	d’	> 88,0
E’	Gelo perpétuo	< 142		

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

3.5 Base cartográfica

Concluído as etapas anteriores foi realizada a representação espacial dos parâmetros analisados por meio da aplicada a krigagem (método da interpolação). Desta maneira, a produção das cartas temáticas foi executada através do software ArcGis 10.3, licenciado para o Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (DCG/UFPE), projetadas no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000).

A krigagem busca estimar os valores dos dados para locais não amostrados. Esse método utiliza a relação espacial entre amostras vizinhas, para estimar valores em qualquer porção da área de estudo. A correlação espacial entre observações adjacentes para prever os valores em locais não amostrados é o principal aspecto que distingue a krigragem de outros interpoladores geoestatísticos (CARVALHO; ASSAD, 2005; SOUZA; et al. 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na microrregião do Recife verifica-se temperatura do ar entre 26°C (verão) a 23°C (inverno), com baixa amplitude térmica (3,3ºC), e uma ETP 1.393 mm/ano, em que suas maiores taxas ocorrem entre dezembro a março, somando 548,9 mm. A precipitação média anual é de 1.566 mm, dos quais 922,5 mm ocorre na quadra chuvosa (abril a julho). O ARM atingi 100 mm entre abril e agosto, apresentando a menor taxa em fevereiro com 2,1 mm. A evapotranspiração real (ETR) apresentou uma média histórica de 1.102,1 mm/ano, sendo os meses entre março a maio maiores taxas (superiores a 100 mm) e com menores índices nos meses de novembro e dezembro (54,8 e 57,9 mm, respectivamente) (Tabela 6).

Tabela 6 – Balanço Hídrico Climatológico da microrregião de Recife (1967-2017)

Mês	t(ºC)	I	Etp	Corr	ETP	P	P-ETP	NegAc	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	R
Jan	26,4	12,40	133	1,07	142,3	75,6	-66,7	-349,4	3,0	-3	78,5	63,8	0,0	78,5
Fev	26,3	12,37	132	0,97	128,4	89,3	-39,0	-388,4	2,1	-1	90,3	38,1	0,0	90,3
Mar	26,2	12,29	130	1,06	138,3	148,6	10,3	-208,8	12,4	10	138,3	0,0	0,0	148,6
Abr	25,8	11,99	124	1	123,7	194,4	70,7	0,0	100	88	123,7	0,0	0,0	211,4
Mai	24,9	11,36	110	1,02	112,3	222,2	109,9	0,0	100	0	112,3	0,0	109,9	112,3
Jun	23,9	10,66	96	0,97	93,0	262,9	169,9	0,0	100	0	93,0	0,0	169,9	93,0
Jul	23,1	10,17	87	0,99	85,8	243,0	157,3	0,0	100	0	85,8	0,0	157,3	85,8
Ago	23,3	10,29	89	1	88,8	132,1	43,3	0,0	100	0	88,8	0,0	43,3	88,8
Set	24,1	10,81	99	0,98	97,0	74,2	-22,8	-22,8	79,6	-20	94,6	2,4	0,0	94,6
Out	25,1	11,54	114	1,03	117,2	42,1	-75,2	-98,0	37,5	-42	84,1	33,1	0,0	84,1
Nov	25,9	12,03	125	1,01	126,0	31,9	-94,0	-192,0	14,7	-23	54,8	71,1	0,0	54,8
Dez	26,3	12,35	132	1,06	139,9	49,2	-90,7	-282,7	5,9	-9	57,9	81,9	0,0	57,9
Σ/Média	**25,1**	**138,2**	**1.370**	**1,01**	**1.393**	**1.566**	**173,0**		**655**	**0**	**1.102,1**	**290,5**	**480,4**	**1.200**

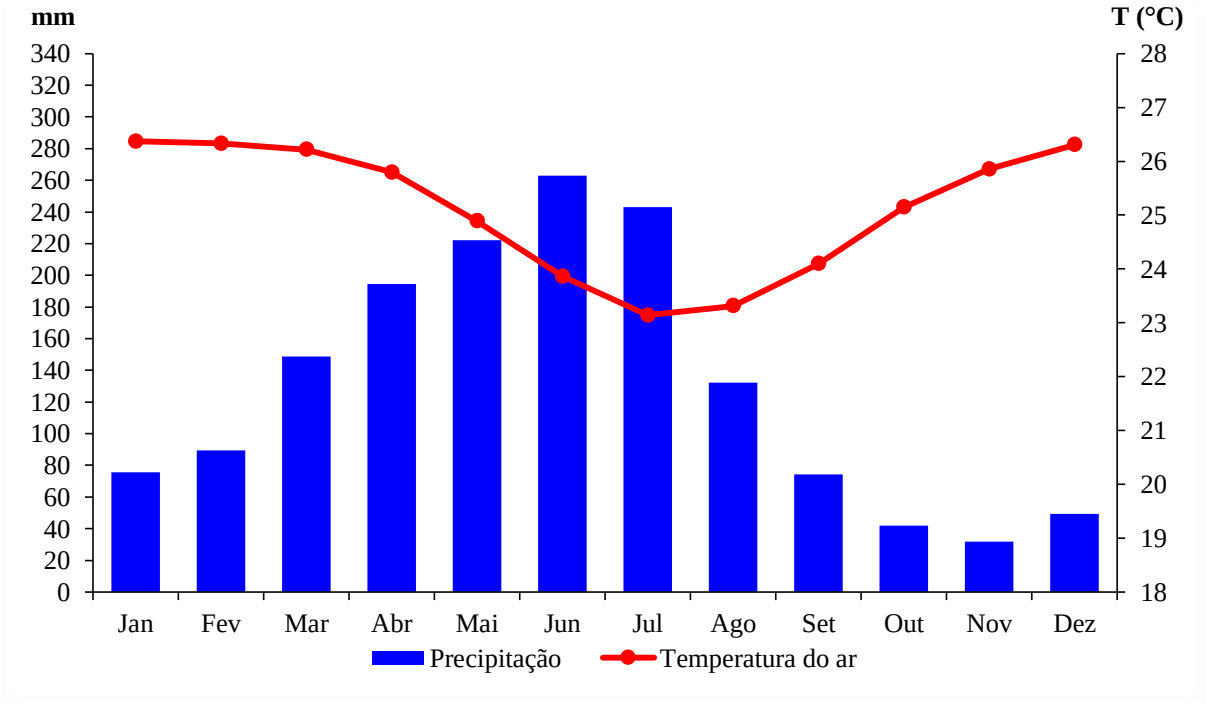
Fonte: O autor (2020).

A deficiência hídrica (DEF) ocorre de setembro a fevereiro (290,5 mm/ano), seu maior índice ocorre no mês de dezembro (81,9 mm) e janeiro com 63,8 mm. O excedente hídrico (EXC) entre maio a agosto tem um total de 480,4 mm, os maiores valores deste período são nos meses de junho e julho com 169,9 e 157,3 mm, respectivamente. A reposição hídrica (R) apresenta um total médio anual de 1.200 mm, sendo os meses de março a maio os mais

expressivos, somando 472,3 mm. Nos meses de março e abril o equilíbrio entre DEF e EXC provoca reposição mais significativa.

O climograma da microrregião do Recife (Figura 3) revela que a quadra chuvosa vai de abril a julho com uma precipitação média de 922,5 mm, sendo junho o mês mais chuvoso (262,9 mm). A pluviosidade entre agosto a novembro diminui drasticamente, este mês possui a menor precipitação com aproximadamente 32 mm. A partir de dezembro as chuvas ocorrem em quantidades crescentes a cada mês até junho. Moura et al. (2012) analisaram as chuvas em um fragmento da Mata Atlântica, bacia hidrográfica do Prata em Recife, para o período de 1994 a 2007, bem como Wanderley et al. (2018) pesquisando sobre os índices pluviométricos para a cidade do Recife para a série histórica de 1961 a 2016, verificaram a mesma quadra chuvosa entre abril e julho com 1.300 mm e 1.470 mm para esse período, respectivamente.

Figura 3 – Climograma da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Os sistemas atmosféricos exercem influência sobre a sazonalidade pluviométrica de uma região (MARCUZZO, 2014). Silva et al. (2014) verificaram a influência nos índices de chuva pelo Dipolo do Atlântico e La Niña nas águas mais quentes do Atlântico Sul. Ferreira; Mello (2005) constataram que a Zona de Convergência Intertropical formada principalmente pela confluência dos alísios transporta umidade dos oceanos para o continente promovendo chuva para boa parte do litoral do NEB. Silva; Bandeira; Santos (2018) também verificam a

quadra chuvosa no mesmo período (1.357 mm) com uma precipitação anual de 2.300,5 mm. Os autores explicam que esse período chuvoso de abril a julho é provocado principalmente pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs). Esses altos índices pluviométricos favorecem o aumento do volume dos rios, assim como inundações, propiciados e agravados por planejamento urbano da cidade de Recife que não foi considerado precipitações extremas (LUCENA et al., 2016), realidade que também assola a microrregião analisada nesta pesquisa.

A microrregião do Recife sofre com a atuação dos mais variados sistemas atmosféricos, como por exemplo: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a massa Tropical Atlântica (Ta), os Vórtices Ciclônicos de altos níveis (VCAN), a Frente Polar Atlântica (FPA), os Cavados que formam os Sistemas Ondulatórios de Leste (DOLs) ou simplesmente Ondas de Leste geradas sobre o Atlântico, com a consequente formação de Linhas de Instabilidade (LI). Os meses de junho e julho representam o período de maior precipitação na faixa oriental de Pernambuco, com influência dos resquícios das incursões da FPA que adentrarem a microrregião (GIRÃO; CORRÊA; GUERRA, 2007).

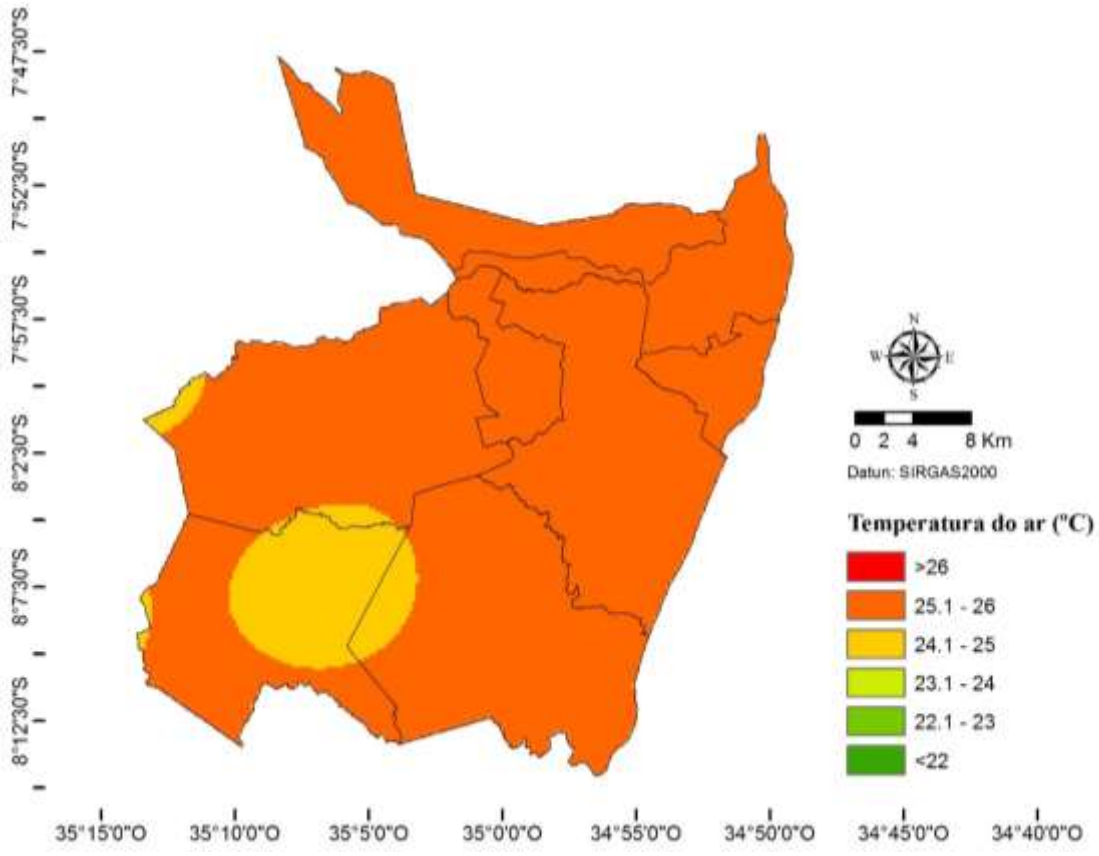
Em Pernambuco a ‘mTa’ está presente na maior parte do ano, essa massa de ar tropical é oriunda do Anticiclone Subtropical Semi-fixo do Atlântico Sul. Ela é responsável por depositar umidade sobre a faixa costeira até a escarpa oriental da Borborema. As perturbações sofridas por esta massa estão associadas às chuvas sobre o litoral. Na microrregião do Recife perturbações provocadas por Ondas de Leste provocam bastante chuva, empurradas por alísios de sudeste. A ZCIT também é responsável por parte da precipitação e está associado à migração do equador térmico para o hemisfério sul, provocando chuvas com trovoadas e mudança na direção do vento de sudeste para nordeste, atingindo o Recife no outono. A Frente Polar alcança a microrregião do Recife por dissipação, mas não caracteriza um sistema frontal explicito com revezamento do ar tropical pelo ar polar após a passagem da frente. Já os VCANs são mais ativos no verão, com centro transparente e bordas nebulosas de onde deriva precipitações (CORRÊA, 2006; SILVA et al., 2015).

Já a temperatura do ar varia de acordo com as estações do ano, tendo seus maiores índices registrados no verão (dezembro a março), com uma média de 26,3°C, atingindo seu máximo no mês de janeiro com 26,4°C; enquanto que, o mês de julho (inverno) registra a menor temperatura com 23,1°C, apresentando uma amplitude térmica anual de 3,3°C. Moreira e Galvício (2007) ao analisarem a temperatura na superfície da cidade do Recife verificaram uma média de 25°C, com amplitude térmica inferior a 5°C. Os autores explicam que isso ocorre devido à cidade está em uma zona de baixa latitude em que a energia solar incide diretamente o ano inteiro, além da baixa altitude que causa uma maior concentração de

partículas sólidas o que favorece a absorção de calor. Corrêa (2006) elucida que a diferença em horas de insolação entre o verão e o inverno é de apenas 25 minutos. Já Silva; Bandeira; Santos (2018) observaram que a temperatura no período de 1961 a 1990 oscilou anualmente entre 23º a 31°C.

A Figura 4 revela a espacialização da temperatura média anual do ar da microrregião, a qual varia entre 24,1º e 26°C, sendo a temperatura predominante na classe entre 25,1 a 26°C. As áreas que possuem uma menor temperatura abrangem apenas uma parte a oeste de Jaboatão dos Guararapes, sul e oeste de São Lourenço da Mata, além das porções centro-nordeste central, norte, leste e uma pequena parcela a oeste da cidade de Moreno. Segundo Ribeiro e Souza (2018) essa diminuição gradativa da temperatura ocorre em função da altitude, uma vez que a altitude é um dos principais fatores da diferença térmica em pequenas distâncias.

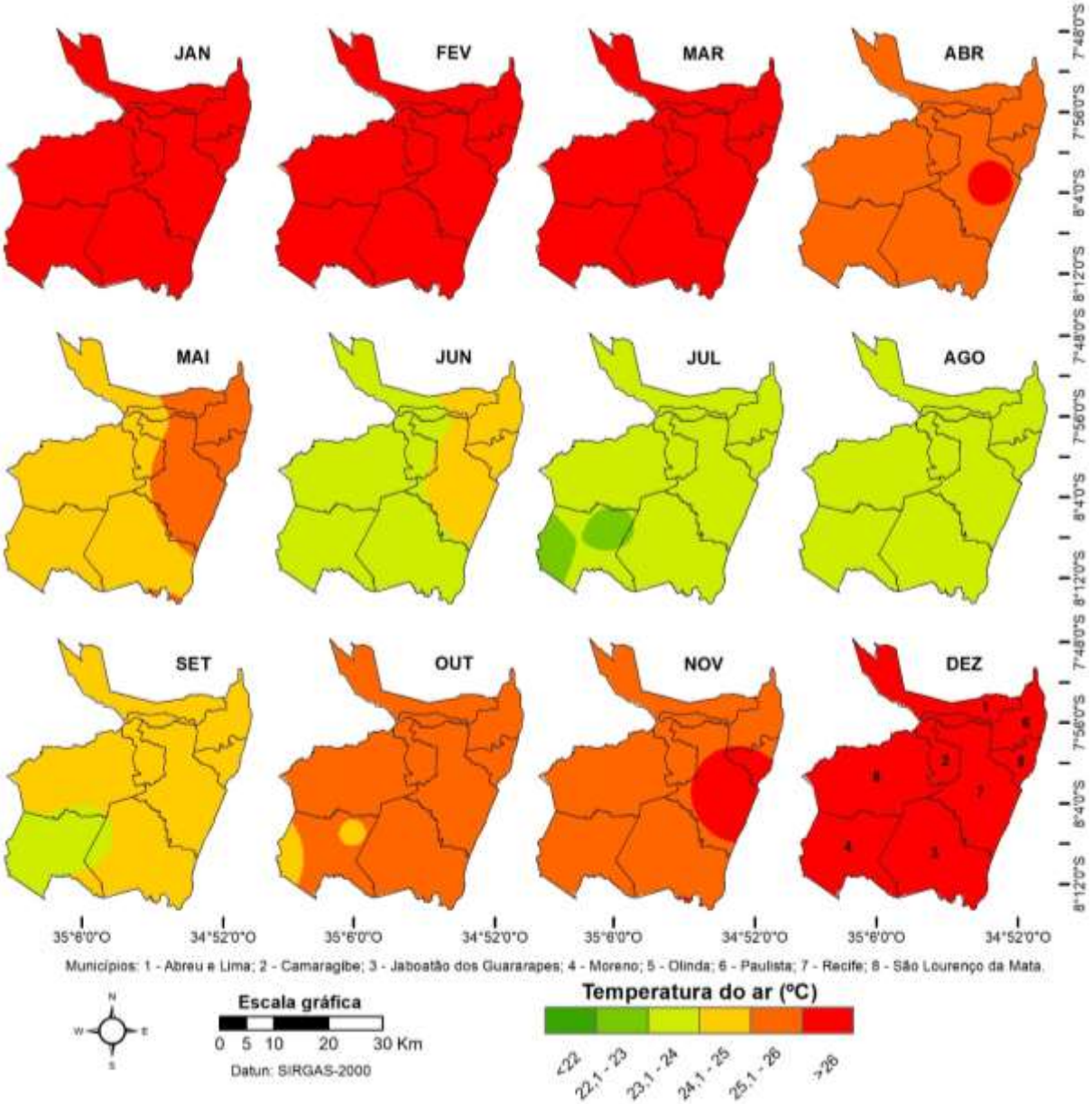
Figura 4 – Mapa da temperatura do ar da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

A Figura 5 apresenta a espacialização mensal da temperatura do ar para a microrregião do Recife. Por meio deste mapeamento, é possível verificar os maiores índices de temperatura do ar ocorrem entre dezembro e março, superiores a 26°C.

Figura 5 – Mapas da temperatura do ar mensal da microrregião de Recife (1967-2017)



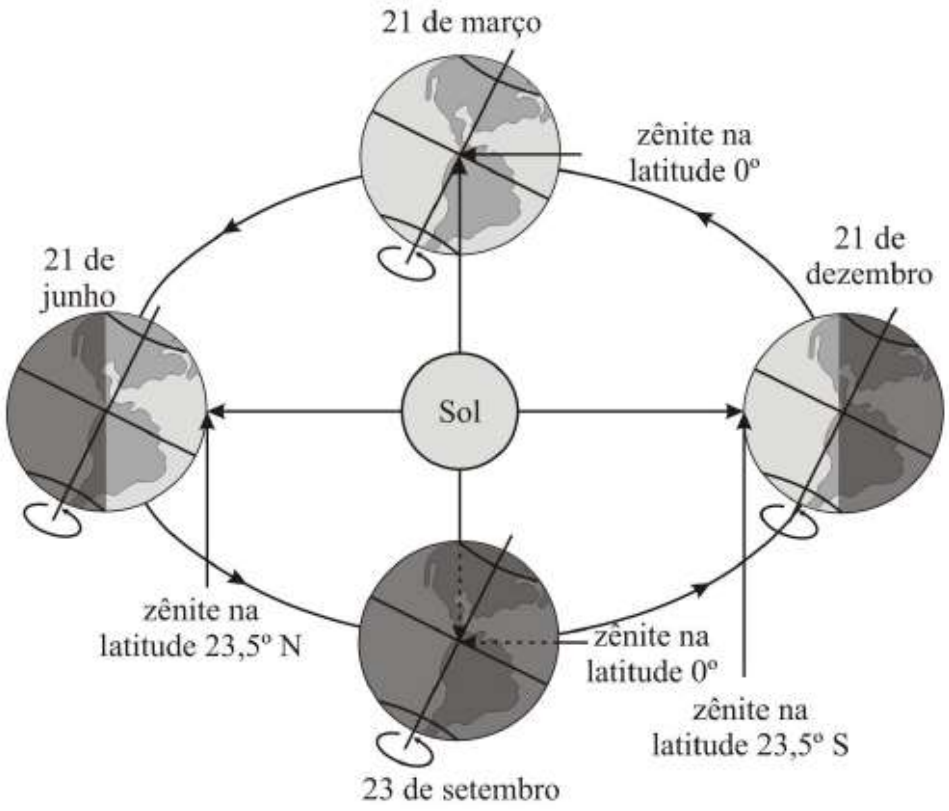
Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Em abril a temperatura do ar se manteve entre 25,1ºC e 26ºC, sendo o centro do Recife com temperaturas superiores a 26ºC. As transformações na cobertura do solo associada a diminuição da vegetação, aumento de indústria, adensamento de prédios, excessiva quantidade de veículos que causam poluição e emissão de gases, excesso de asfalto, entre

outros, afetam a dinâmica da atmosfera local, alterando o balanço de energia, modificando a temperatura do ar e interferindo na distribuição da precipitação (SOUZA; AZEVEDO, 2009).

No mês de maio há uma diminuição das temperaturas a oeste da microrregião variando entre 24,1ºC e 25ºC, enquanto os municípios de Paulista e Olinda, bem como parte de Abreu e Lima e Recife a temperatura oscilou entre 25,1ºC e 26ºC. Já entre junho e setembro a temperatura do ar atinge seus menores valores, oscilando entre 22°C a 25°C, devido ao período de menor insolação (Figura 6). Em junho as temperaturas do ar desses municípios supracitados diminuem para entre 24,1ºC e 25ºC e no restante da microrregião se manteve entre 23,1ºC e 24ºC. No mês de julho prevalece as temperaturas entre 23,1ºC e 24ºC, sendo que o município de Moreno também apresenta temperaturas entre 22,1ºC e 23ºC.

Figura 6 – Movimento de translação da Terra, Solstícios e Equinócios



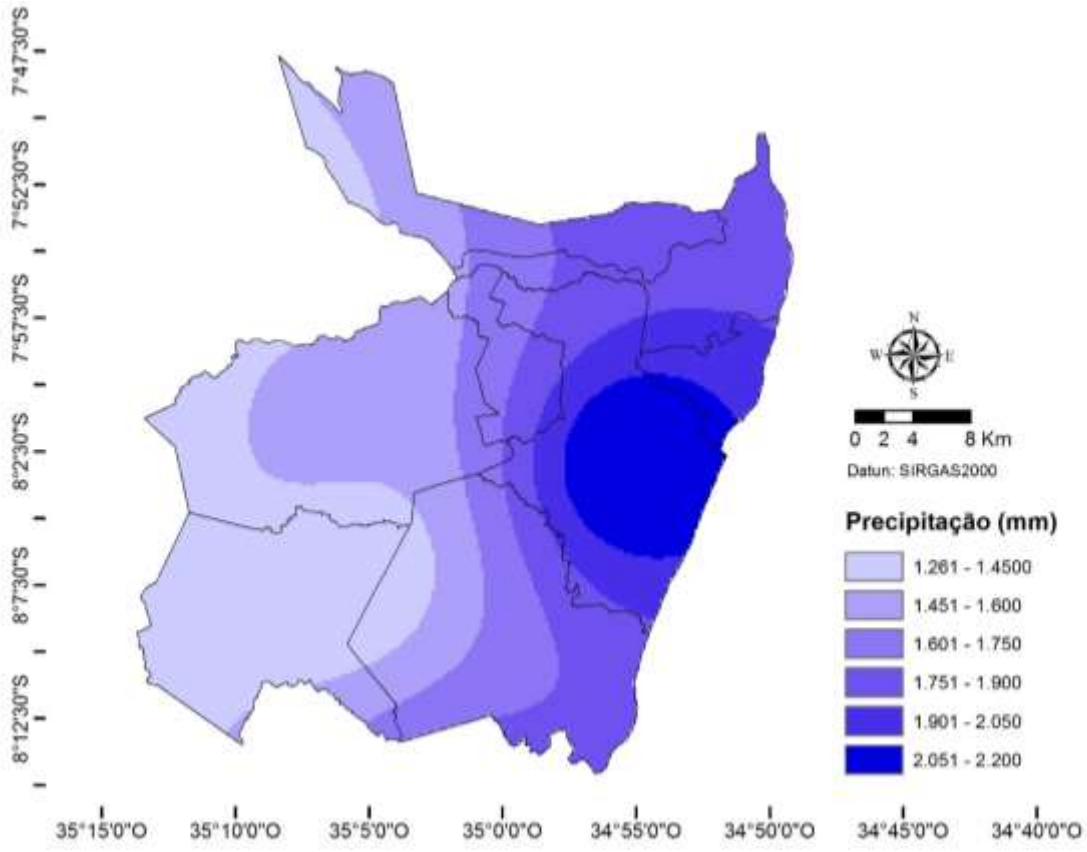
Fonte: Torres; Machado (2008).

Em agosto as temperaturas da microrregião ficaram entre 23,1ºC e 24ºC. No mês de setembro as temperaturas aumentam (24,1ºC e 25ºC), contudo a quase totalidade do município de Moreno e trechos dos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço

da Mata permaneceram com as mesmas temperaturas de agosto (23,1ºC e 24ºC). Em outubro as temperaturas do ar se mantiveram entre 25,1ºC e 26ºC, exceto a oeste de Moreno que permaneceu entre 24,1ºC e 25ºC. No mês de novembro conservou-se as temperaturas entre 25,1ºC e 26ºC, contudo os municípios de Recife e Olinda apresentaram localidades com temperaturas superiores a 26ºC. Os estudos de Moreira; Nóbrega; Silva (2013) e Bezerra (2018) apresentam resultados similares ao da presente pesquisa.

A espacialização da precipitação média anual representada na Figura 7 demonstra que nas áreas mais próximas ao litoral as chuvas são maiores, diminuindo gradativamente à medida que vai se afastando do mesmo. A faixa litorânea revela uma variação de 1.751 a 2.200 mm/ano, sendo a cidade do Recife a que possui a maior concentração com uma pluviosidade anual entre 2.051 a 2.200 mm. No setor oeste da microrregião a precipitação anual variam entre 1.261 a 1.750 mm. Isso se dá devido a diminuição da influência das brisas marítimas para oeste e, consequentemente, da diminuição da umidade atmosférica provinda do oceano.

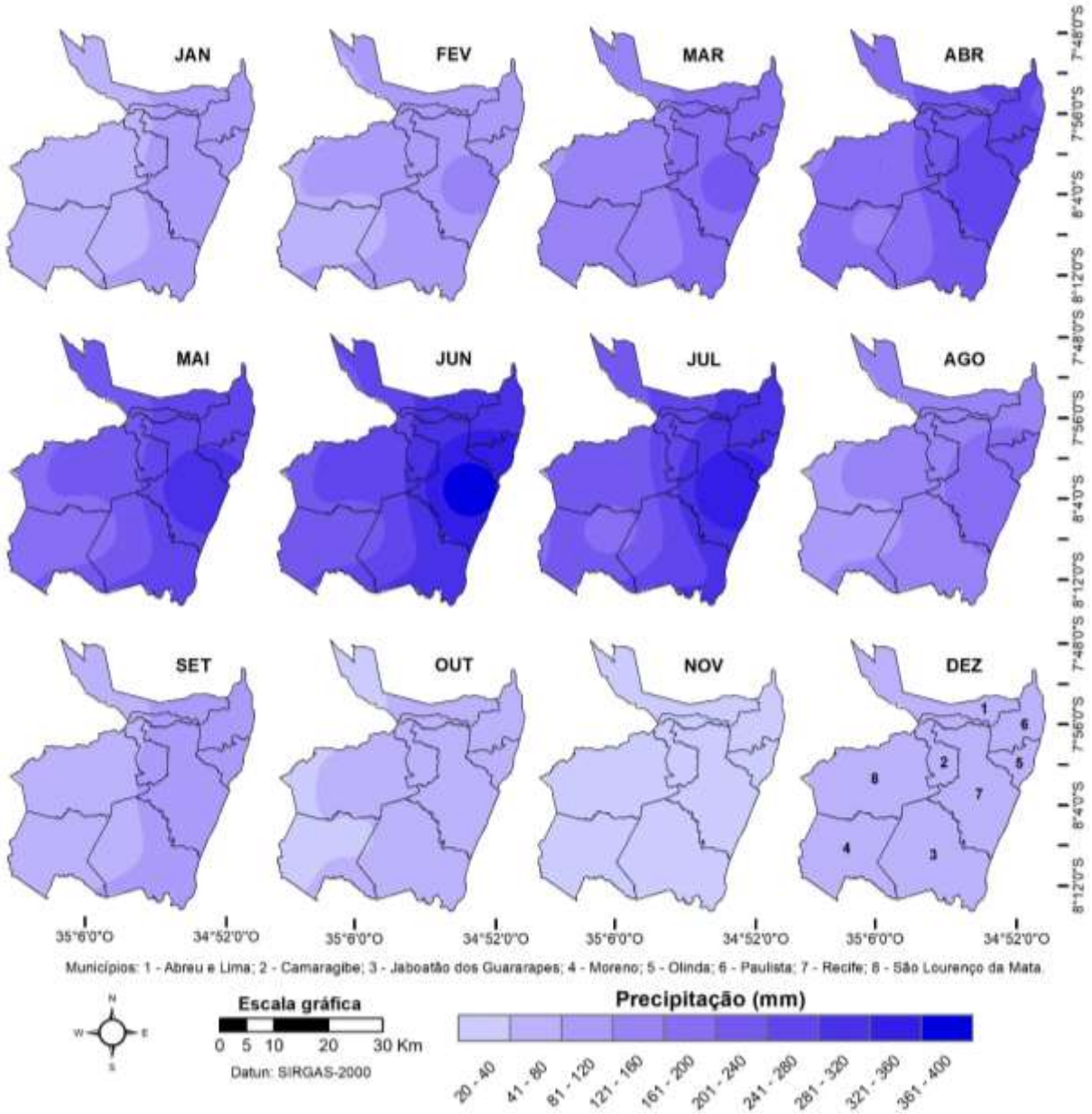
Figura 7 – Mapa da precipitação da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Os mapas temáticos da precipitação mensal da microrregião de Recife estão representados na Figura 8. Em janeiro os municípios localizados a leste da microrregião apresentaram precipitação entre 81 e 120 mm, enquanto os municípios mais a oeste os índices ficaram entre 41 e 80 mm. No mês de fevereiro as chuvas foram entre 81 e 120 mm, abrangendo a quase totalidade da área estudada, exceto parte do município de Recife que apresentou pluviosidade entre 121 e 160 mm e a sudoeste da microrregião (parte dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata e Moreno) com os menores valores para o referido mês (41 e 80 mm). Em março, os municípios localizados a leste da microrregião obtiveram uma precipitação entre 161 e 200 mm, sendo que a região central do Recife deteve uma pluviosidade entre 201 e 240 mm, já a oeste os índices pluviométricos foram menores, variando entre 121 e 160 mm.

Figura 8 – Mapas da precipitação mensal da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

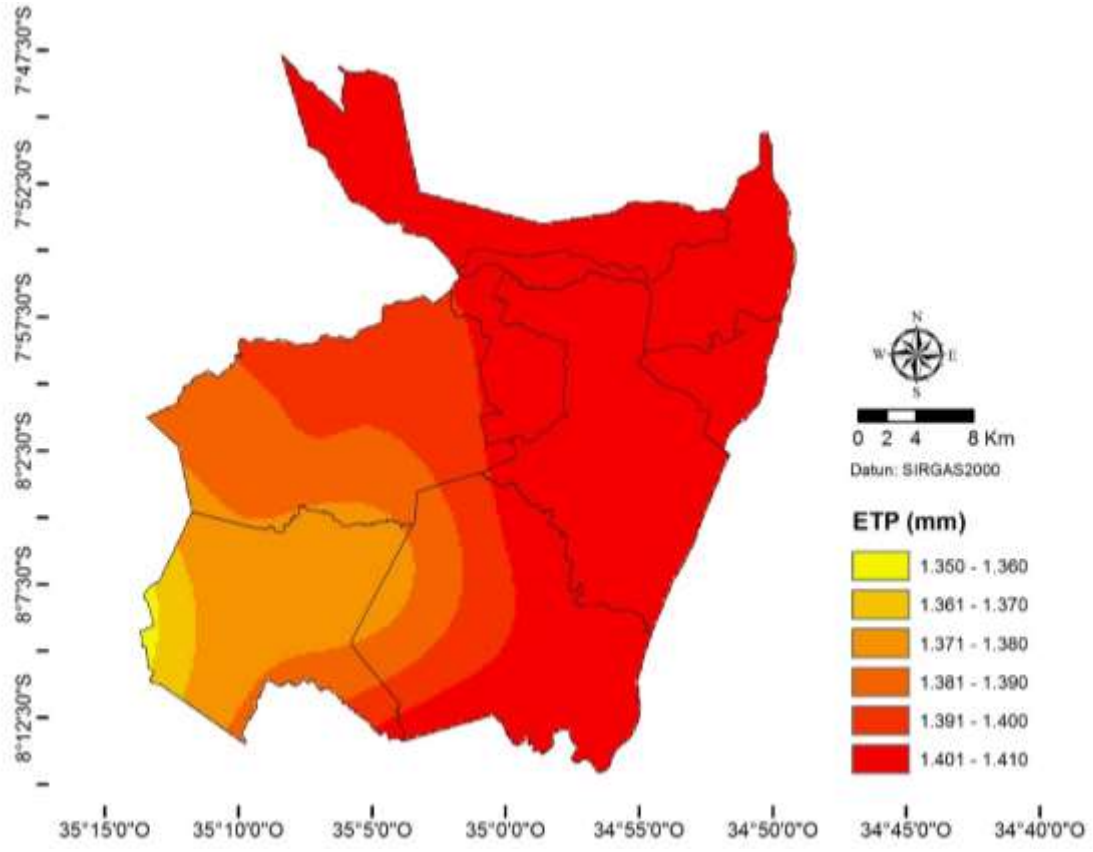
De abril a julho, período de maior precipitação definida como quadra chuvosa, os índices pluviométricos variam entre 121 a 400 mm, possuindo valores crescentes de chuva no sentido oeste-leste. As chuvas nesse período são ocasionadas, principalmente, pela frente polar do Atlântico e a atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (NÓBREGA; FARIAS, 2016). Em agosto a precipitação variou entre 81 a 200 mm no sentido oeste-leste. Em setembro a pluviosidade ficou entre 81 a 120 mm a leste da microrregião, enquanto a oeste as chuvas foram entre 41 a 80 mm.

Em outubro a pluviosidade predominante foi entre 41 a 80 mm, apresentando uma precipitação menor (entre 20 e 40 mm) nas localidades a oeste dos municípios de Abreu e Lima,

São Lourenço da Mata e Moreno. Já em novembro a precipitação oscilou entre 20 e 40 mm e em dezembro a pluviosidade aumenta, oscilando entre 41 a 80 mm, devido ao deslocamento anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que apresenta uma posição climatológica mais ao sul no verão, bem como pela atuação dos vórtices ciclônicos de altos níveis (NÓBREGA; FARIAS, 2016; RIBEIRO; SOUZA, 2018).

A evapotranspiração potencial (ETP) média anual da microrregião de Recife da série histórica pesquisada é de 1.393,5 mm. Na espacialização da ETP (Figura 9) verificou-se que suas maiores taxas foram registradas em toda a faixa litorânea com índices superiores a 1.391mm. No setor sudoeste foram registrados os menores valores na faixa de entre 1.350 a 1.390 mm. Essa diminuição do índice ocorre pela diminuição gradativa da temperatura do ar nesta área. Como verificado por Ribeiro e Souza (2018) em sua pesquisa para a microrregião de Vitória de Santo Antão, a ETP diminui no sentido sudoeste, ocasionado pela sua elevação brusca do relevo, ocorrendo assim a diminuição da temperatura do ar, a qual está relacionada de forma direta com o potencial energético.

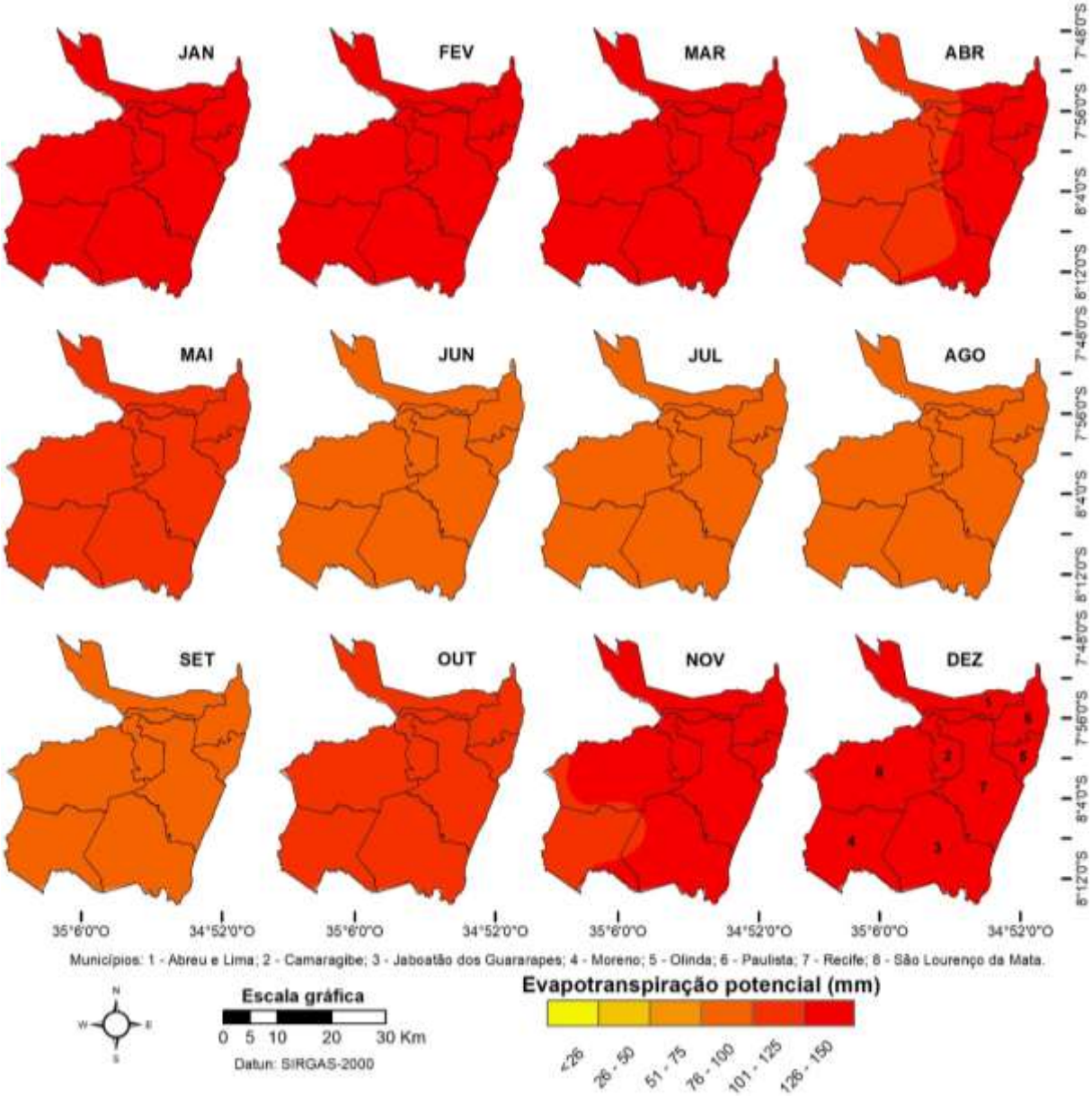
Figura 9 – Mapa da evapotranspiração potencial anual da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

As variações mensais ETP estão representadas pelos mapas temáticos da Figura 10, sendo a média mensal de 116,1 mm. Os maiores índices de ETPs são verificados entre dezembro e março com estimativas de 126 a 150 mm em todo o território estudado. Em abril os municípios mais a leste da microrregião continuam com ETP elevada (126 a 150 mm), entretanto os municípios a oeste têm valores de ETP reduzidos (101 e 125 mm). Em maio a ETP da microrregião fica entre 101 e 125 mm e nos meses de junho a setembro possui valores que variam entre 76 e 100 mm. No mês de outubro a taxa de ETP aumentar, ficando entre 101 e 125 mm. Em novembro a ETP oscilou entre 126 a 150 mm, apresentando valores menores (entre 101 e 125 mm) nas localidades a oeste dos municípios São Lourenço da Mata, Moreno e Jaboatão dos Guararapes.

Figura 10 – Mapas da evapotranspiração potencial mensal da microrregião de Recife (1967-2017)

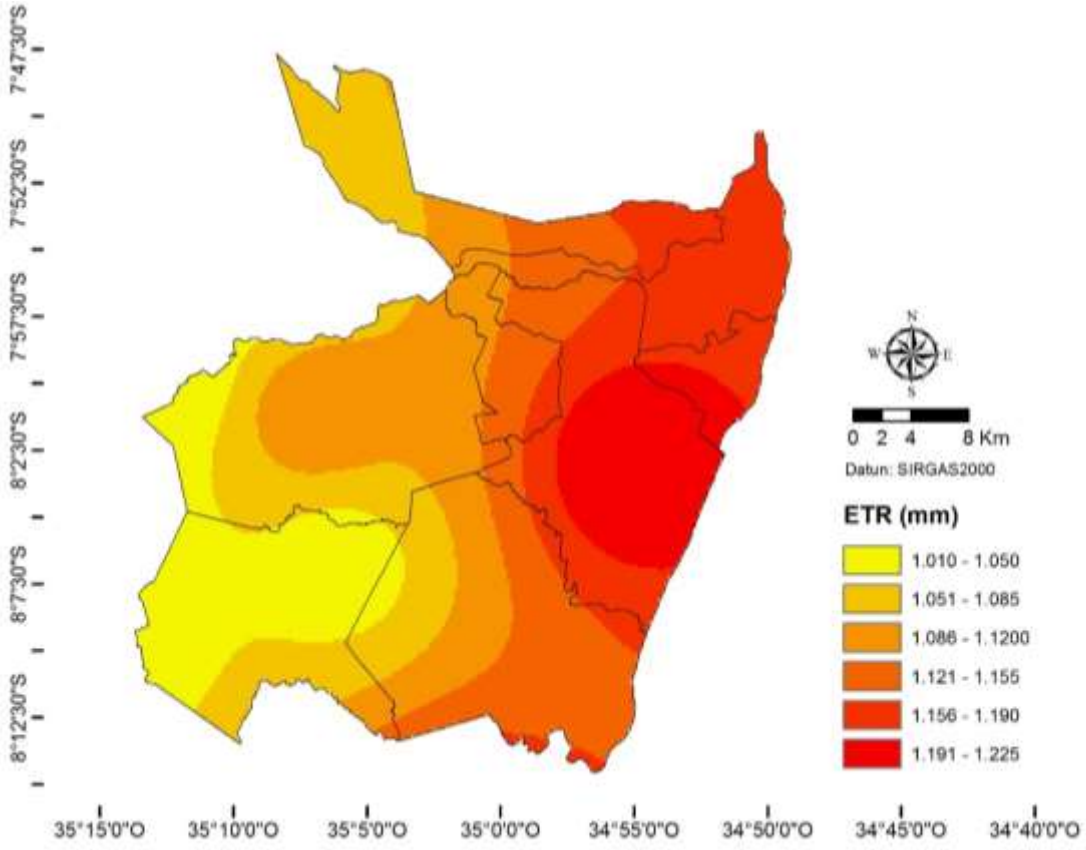


Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Na Figura 11 está a espacialização anual da evapotranspiração real (ETR). A ETR anual da microrregião de Recife é 1.102,1 mm, foi constatada uma diminuição gradual de leste-oeste com índices máximos entre 1.191 a 1.225 mm na porção leste, enquanto a oeste a menor classe ficou entre 1.010 a 1.050 mm. Essa diminuição da ETR ocorre devido a uma redução gradual da precipitação. Souza et al. (2014) averiguaram na bacia hidrográfica do rio Caravelas que a ETR acompanha a ETP nos meses de outubro, novembro e dezembro, registrando maiores valores nos meses de março e abril com 138,6 e 129,1 mm, respectivamenete. Já para a microrregião do

Recife, conforme ocorre à diminuição da disponibilidade hídrica de leste para oeste, a ETR também sofre uma gradativa redução nesse sentido.

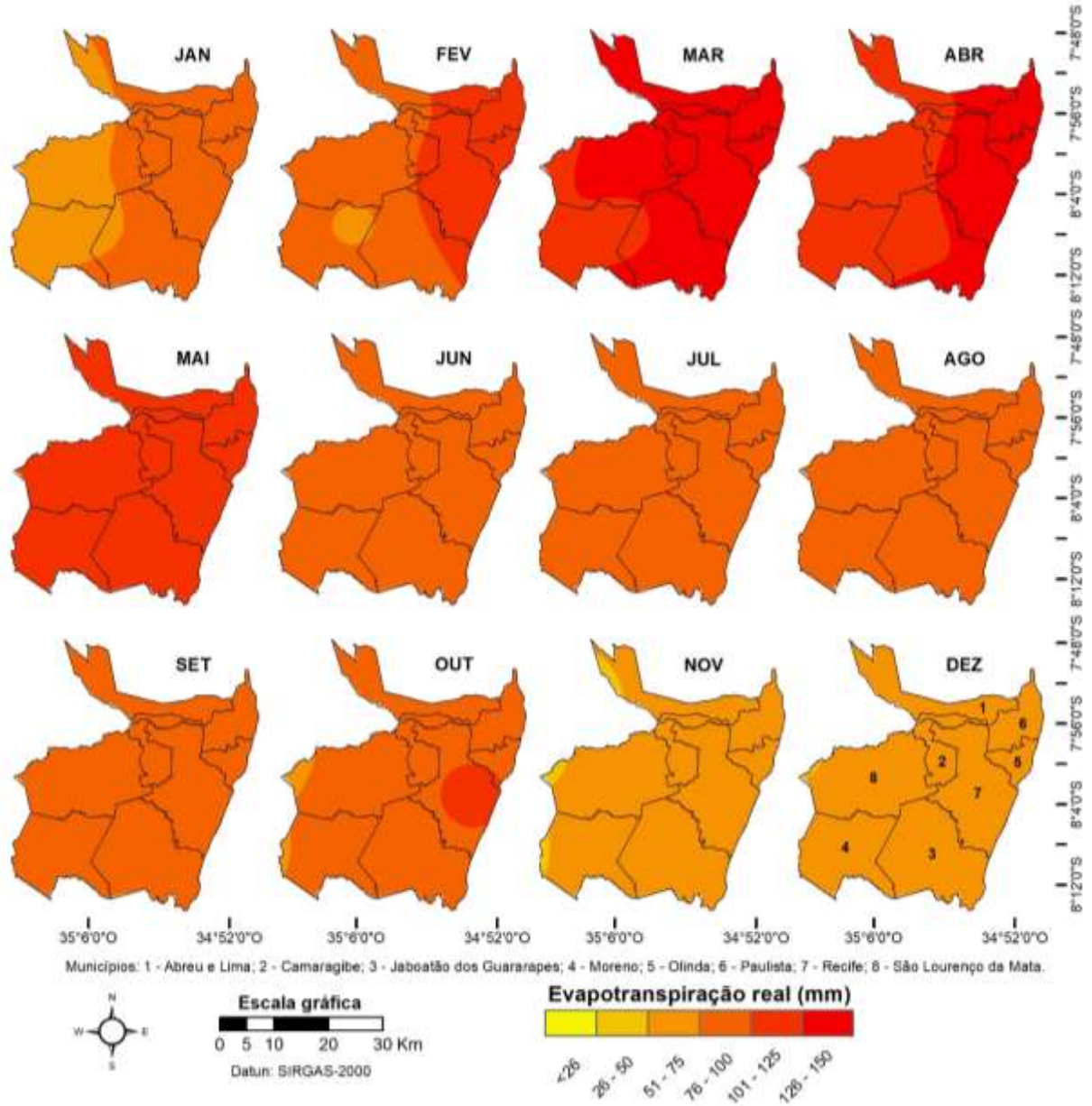
Figura 11 – Mapa da evapotranspiração real da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

A Figura 12 apresenta a distribuição espacial da ETR mensal, em que a média é de 91,8 mm. Em janeiro a ETR da referida área variou entre 76 a 100 mm, apresentando valores menores (entre 51 a 75 mm) nas localidades a oeste de Abreu e Lima, São Lourenço da Mata, Jaboatão dos Guararapes e Moreno. Em fevereiro nos municípios localizados mais a leste da microrregião (Olinda, como também parte de Abreu e Lima, Paulista, Recife, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes) a ETR variou entre 101 e 125 mm, enquanto os municípios mais a oeste a oscilação foi de 76 e 100 mm. No nordeste do município de Moreno a ETR variou entre 51 a 75 mm.

Figura 12 – Mapas da evapotranspiração real mensal da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

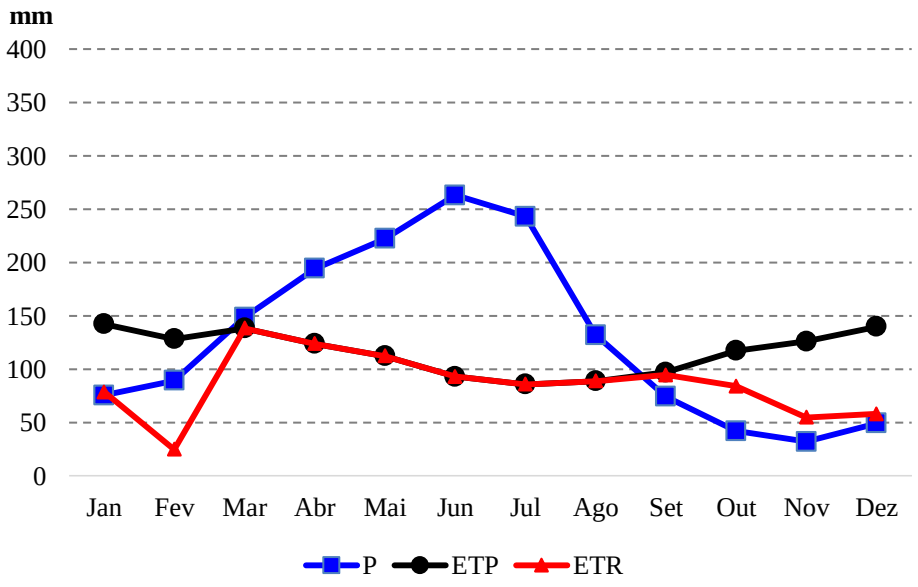
Os meses de março, abril e maio possuem os maiores valores de ETR devido a maior disponibilidade hídrica no solo. Em março predomina a ETR entre 126 e 150 mm com exceção do oeste dos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata, além de quase todo o município de Moreno, os quais obtiveram valores que variaram entre 101 e 125 mm. Na área mais a leste da microrregião a ETR de abril oscilou entre 126 e 150 mm, enquanto a oeste deteve valores entre 101 e 125 mm, crescendo a área de abrangência destes no sentido leste, alcançando toda a microrregião em maio.

Nos meses de junho a setembro a ETR ficou entre 76 a 100 mm em toda a microrregião de Recife. Em outubro a ETR continua entre 76 a 100 mm em quase toda área pesquisada, exceto

em localidades dos municípios de Olinda e Recife com valores entre 101 a 125 mm e no extremo oeste dos munícipios de São Lourenço da Mata e Moreno, os quais apresentaram ETR entre 51 a 75 mm. No mês de novembro a ETR ficou entre 51 a 75 mm, exceto no extremo oeste dos municípios de Abreu e Lima, São Lourenço da Mata e Moreno que ficou entre 26 e 50 mm. Em dezembro a ETR continuou entre 51 a 75 mm, mas com uma pequena área no extremo oeste do município de São Lourenço da Mata com valores entre 26 e 50 mm.

A Figura 13 retrata o balanço hídrico normal mensal para a microrregião de Recife, na qual se encontra as variáveis de precipitação, ETP e ETR. A precipitação, como já mencionado, possui uma variação sazonal, tendo sua quadra chuvosa nos meses de abril a julho. A ETP obteve uma regularidade ao longo do ano, devido a baixa amplitude térmica anual da microrregião. Os valores mais elevados de ETP ocorre nos meses de dezembro e janeiro com 139,9 e 142,3 mm, respectivamente, enquanto as menores taxas registradas foram nos meses de julho (85,8 mm) e agosto (88,8 mm). A ETR acompanha a ETP nos meses de março a setembro, isso porque a precipitação e o acumulado de água no solo excede a ETP. A ETR registrou os maiores valores nos meses de março e abril com 138,3 e 123,7 mm, respectivamenete; já as menores taxas se encontram nos meses de novembro (54,8 mm) e fevereiro (24,7 mm), meses menores precipitações.

Figura 13 – Gráfico do balanço hídrico normal mensal (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).

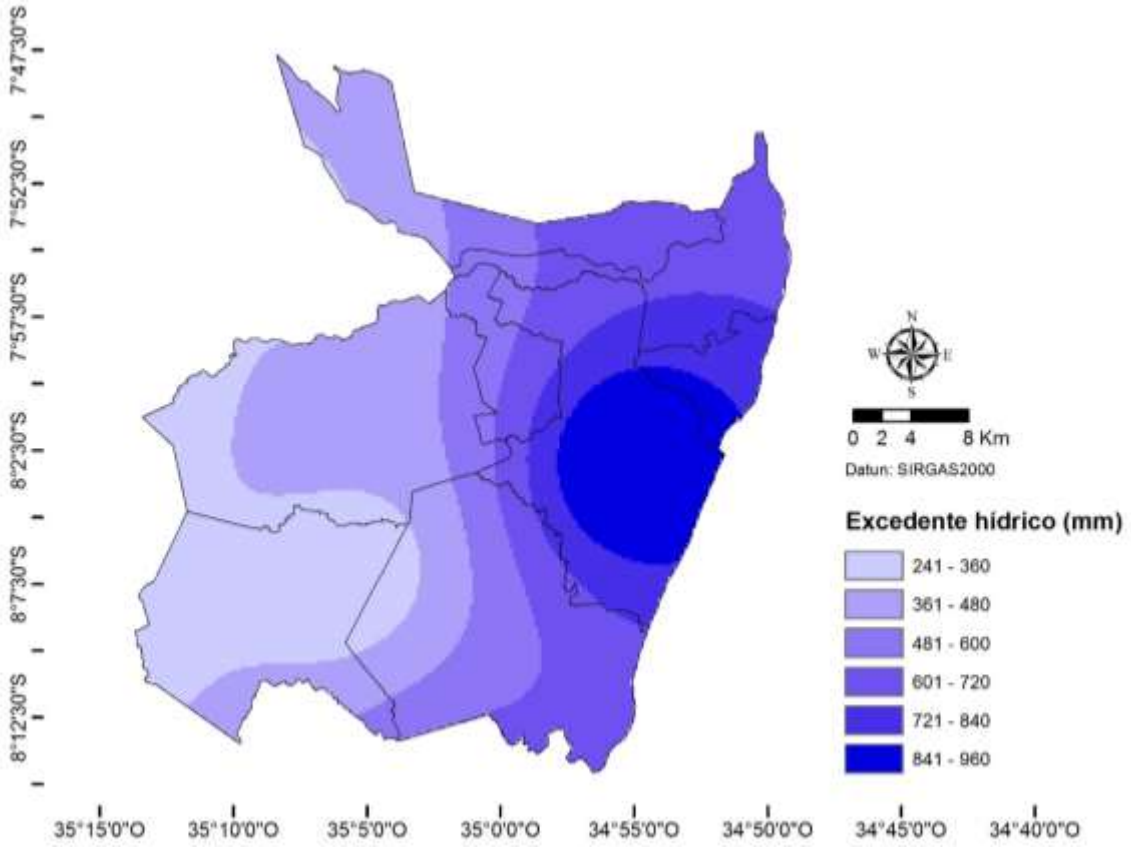
Lima (2020) ao aplicar o BHC para o município de Natal-RN verificou a quadra chuvosa para o período de abril a julho com média de 159,1 mm, com máximas pluviometricas

nos meses de junho (201,2 mm) e maio (151,3 mm), enquanto as mínimas ocorreram em outubro (6,1 mm) e novembro (6,6 mm); com precipitação média de 80,1 mm. Já a ETP teve seus maiores indices no meses de março (166,3 mm) e abril (158,1 mm); em oposição os menores foram em agosto e julho com 121,5 e 124 mm, respecitavamente. Seus indices totalizam 1.730,9 mm. Logo, a ETR têm seus registros superiores em maio (151,3 mm) e abril (144,9 mm); os menores são os meses de novembro com 10,6 mm e dezembro 15,3. Assim, totaliza 961,4 mm de ETR e evidência uma média de 80,1 mm durante o ano se comportando de forma semelhante a precipitação.

Os indices mais elevados de ETP ocorrem pelo fato de Natal esta situada mais próximo da linha equatorial em relação a microrregião de Recife. Isso faz com que o município receba uma carga maior de energia solar, proporcionando um potencial maior de evapotranspiração para esta área. Em razão de Natal possuir menores índices pluvimétricos se comparado a microrregião do Recife, isso provoca uma redução nos índices de ETR, por mais que a ETP seja um pouco superior a da microrregião do Recife a precipitação é inferior e com isso há menos umidade para ser transportada para atmosfera.

A Figura 14 demonstra a variação espacial do excedente hídrico (EXC). Assim como a precipitação, o EXC diminui gradativamente conforme se afasta do litoral para o interior. Dessa forma, é verficado que o EXC nos municípios mais próximos da porção leste varia entre 601 a 960 mm/ano, enquanto que no setor mais a oeste na microrregião a variação fica entre 241 a 600 mm. Medeiros; Holanda; Ferreira (2016) analisaram o BHC para o município de Recife entre 1962 e 2015, encontraram o excedente anual de 727,6 mm no período de abril a agosto, acompanhando a variação da quadra chuvosa de 243,6 a 318,1 mm.

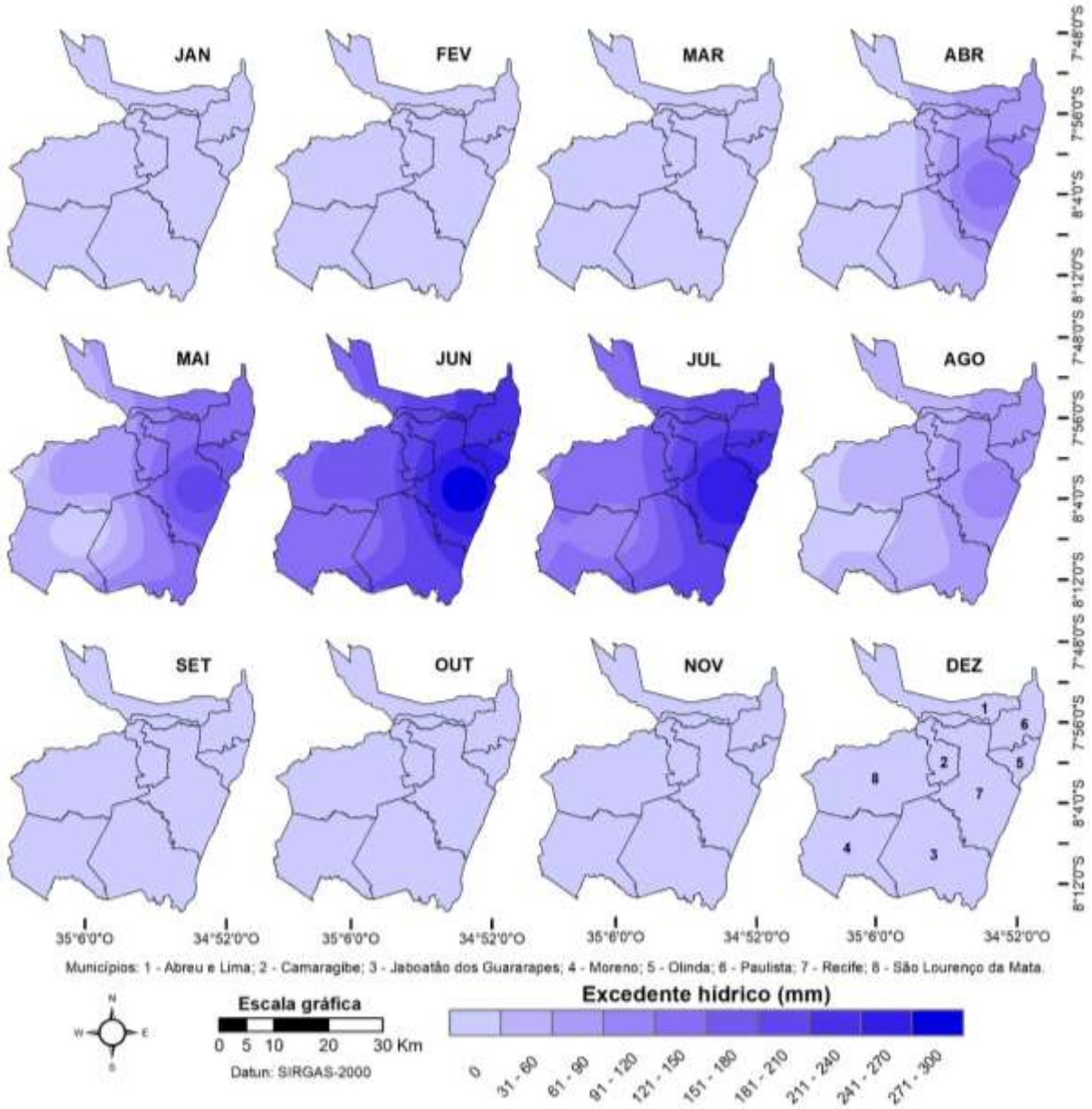
Figura 14 – Mapa do excedente hídrico da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

As variações mensais dos EXC do solo são representadas pelos mapas temáticos da Figura 15. No período de setembro a março o EXC é 0 mm. No mês de abril o EXC varia entre 0 e 150 mm, aumentando gradativa no sentido oeste-leste da microrregião, em que os maiores valores se encontram na região central do município de Recife (entre 121 e 150 mm).

Figura 15 – Mapas do excedente hídrico mensal da microrregião de Recife (1967-2017)

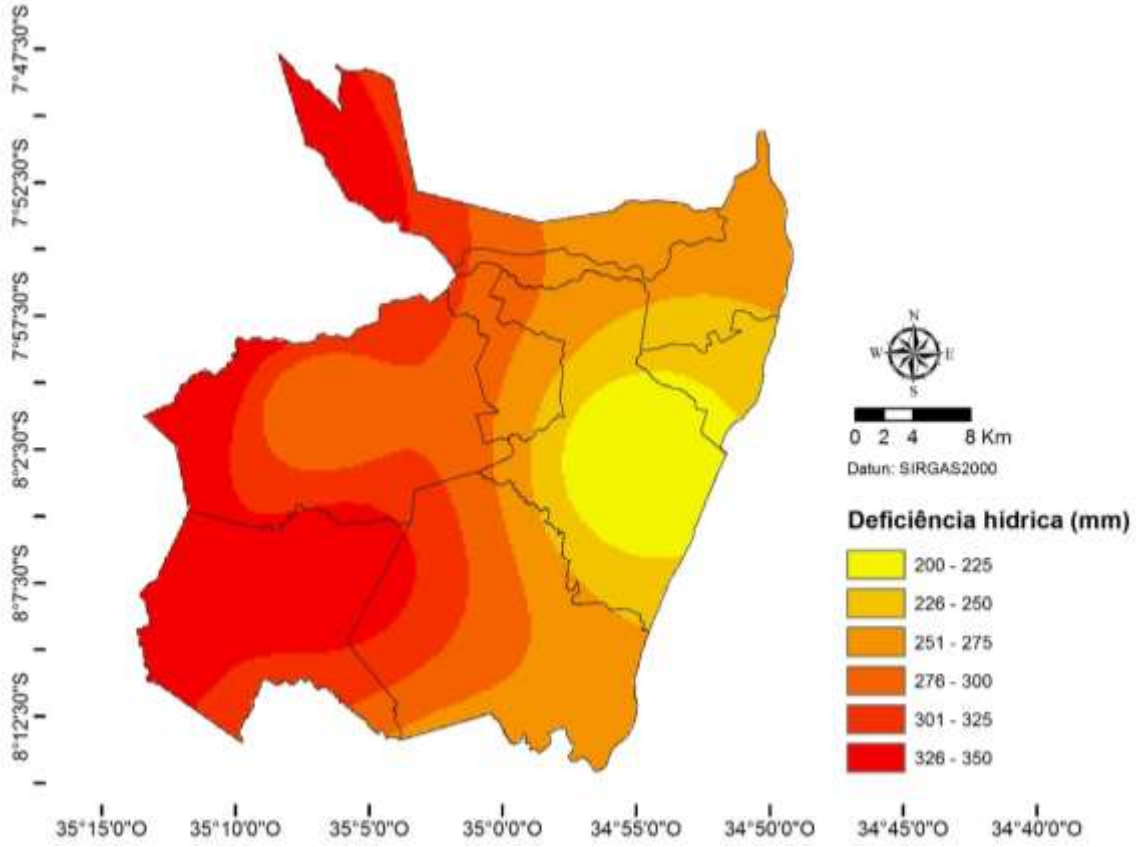


Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Maio, junho e julho são os meses de maiores valores de EXC. Nesses meses à medida que se distancia do litoral (sentido leste-oeste) o EXC diminui, uma vez que o aporte hídrico por meio da precipitação vai sendo reduzido. Em maio o EXC varia entre 0 e 210 mm, em que localidades do município de Recife possui os maiores valores (181 a 210 mm) e os menores nos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Moreno e São Lourenço da Mata (entre 0 e 30 mm). Junho é o mês de maiores EXC entre 121 a 300 mm e julho a variação foi de 91 a 270 mm. Em agosto também se tem uma diminuição gradativa do EXC no sentido leste-oeste da microrregião em que os valores variam entre 120 e 0 mm, respectivamente.

A deficiência hídrica (DEF) anual da área e período pesquisados foi de 290 mm. Na Figura 16 é verificado a espacialização da DEF em que a faixa central do litoral têm a menor DEF com as classes variando entre 200 a 250 mm/ano, aumentando os índices gradativamente na direção norte e sul com a classe que varia entre 251 a 275 e, principalmente, para oeste que teve taxas maiores (276 a 350 mm). Duarte; Medeiros; Menezes (2019) encontraram para Recife a DEF de 287,4 mm/ano, enquanto Medeiros et. al. (2009) verificaram para Igarassu e São Lourenço da Mata índices de 203,5 mm e 375,5 mm, respectivamente. Isso evidência que a microrregião sofre com DEF anual entre 150 e 450 mm, provacada pela variação da precipitação.

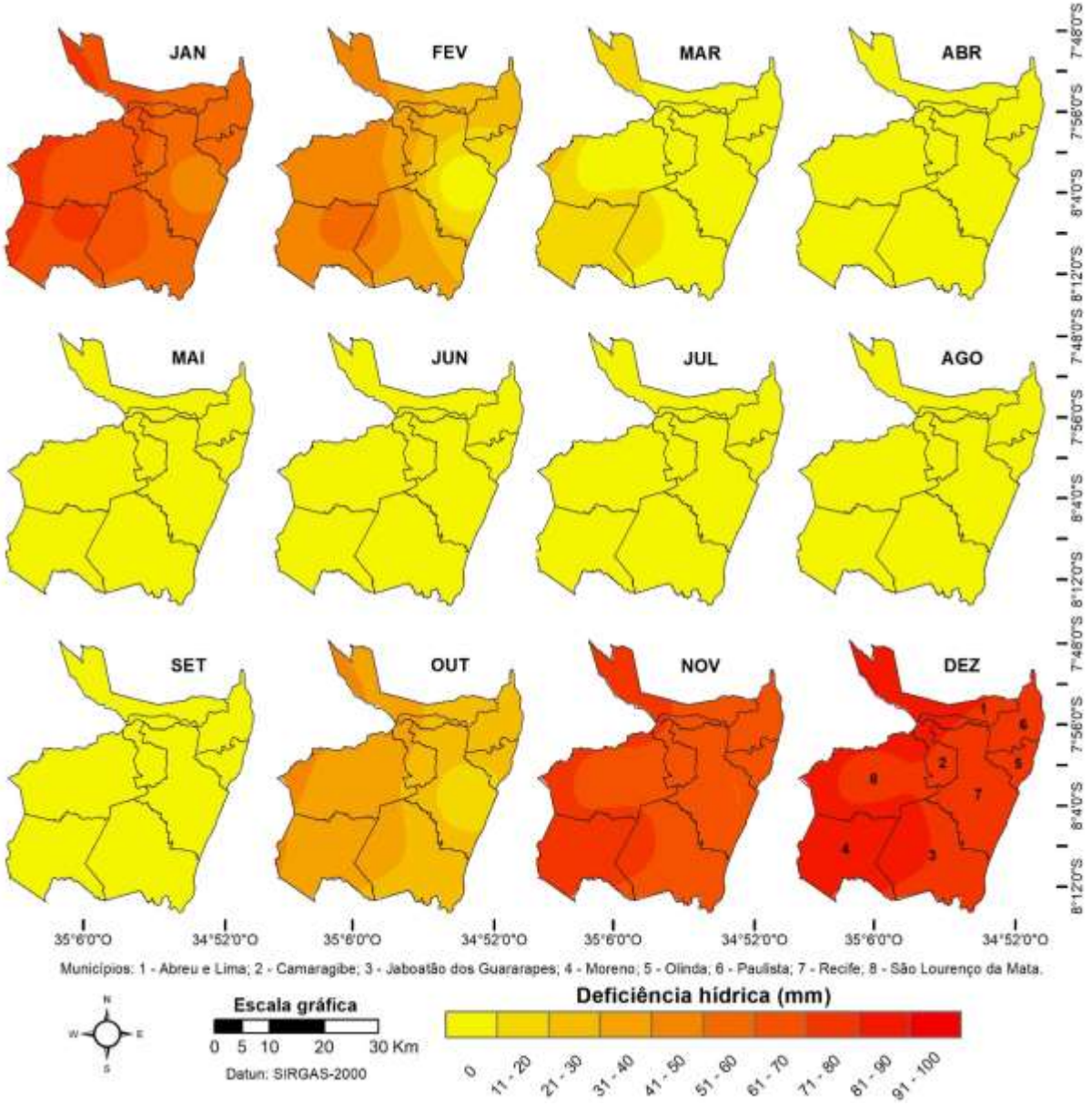
Figura 16 – Mapa da deficiência hídrica da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

As variações mensais DEF estão representadas pelos mapas temáticos da Figura 17, salienta-se que a média de DEF dos meses outubro a março é de 48 mm.

Figura 17 – Mapas da deficiência hídrica mensal da microrregião de Recife (1967-2017)



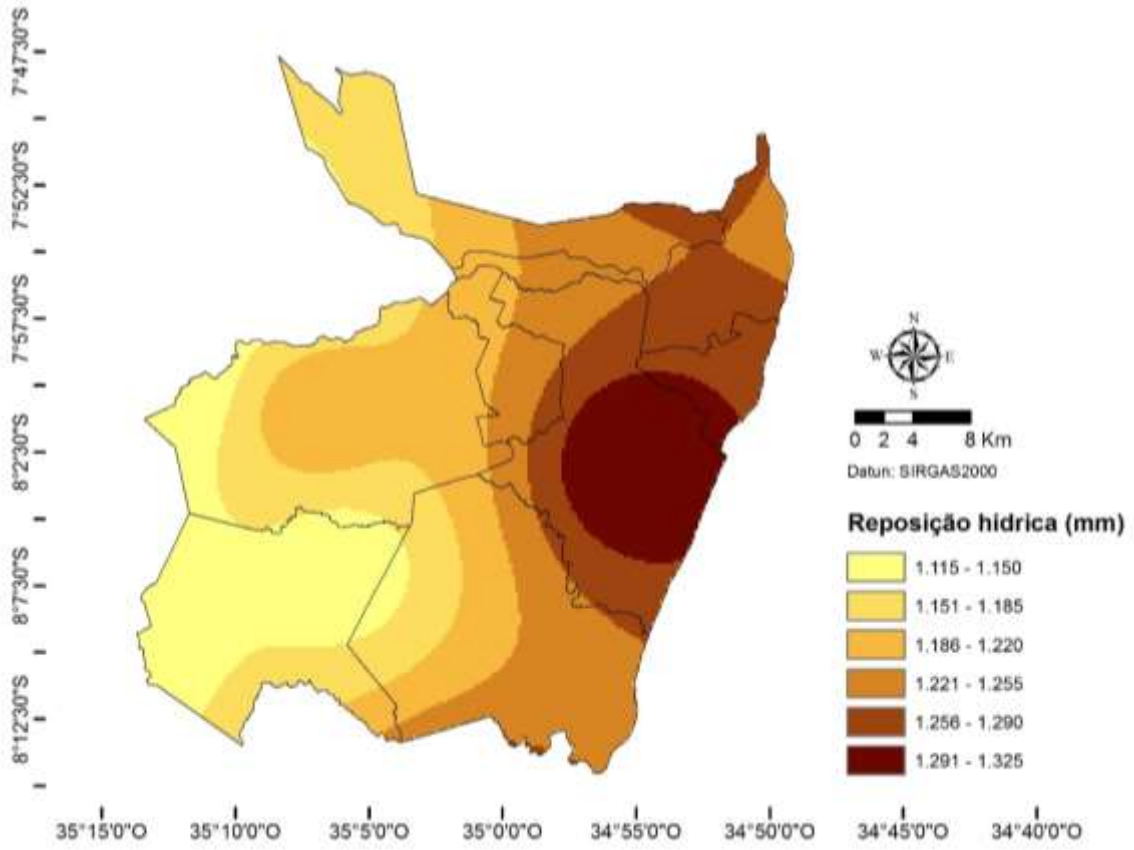
Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Nos meses de janeiro e fevereiro as DEFs aumentam no sentido leste-oeste, obtendo uma variação de 31 a 70 mm e 0 a 60 mm, respectivamente. Em março a DEF de 11 a 20 mm restringiu-se a oeste dos municípios de Abreu e Lima, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata e a quase de totalidade do município de Moreno. No extremo oeste de São Lourenço da Mata a DEF ficou entre 21 e 30 mm. No período de abril e setembro a DEF é 0 mm. No mês de outubro a DEF aumenta no sentido leste-oeste, variando de 0 a 10 mm em localidades de Recife e Olinda até 31 a 40 mm a oeste dos municípios de Abreu e Lima, São Lourenço da Mata e Moreno. Os meses de novembro e dezembro possuem as maiores

deficiências hídricas, variando entre 61 a 80 mm e 81 a 100 mm, respectivamente, aumentando as deficiências do litoral para o interior (sentido leste-oeste).

A Figura 18 apresenta a distribuição da reposição hídrica anual da área estudada, a média de 1.200 mm/anual. Os maiores índices de reposição ocorrem na faixa litorânea, na qual varia entre 1.325 a 1.221 mm/ano. A oeste da referida figura os índices de reposição diminuem de forma gradativa atingindo valores entre 1.115 a 1.220 mm/ano. Passos; Zambrzycki; Pereira (2016) classificaram o clima da região da Chapadinha/MA no período de 1976 a 2015 e identificaram que os meses de reposição hídrica se dá no início do período chuvoso da região, isso acontece até o solo ficar abastecido, após a água ser reposta, ocorre o excedente hídrico. Para Silva; Ferreira (2015) os maiores índices de reposição ocorrem no período de maior ETR, resultado de uma precipitação superior a ETP.

Figura 18 – Mapa da reposição hídrica da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

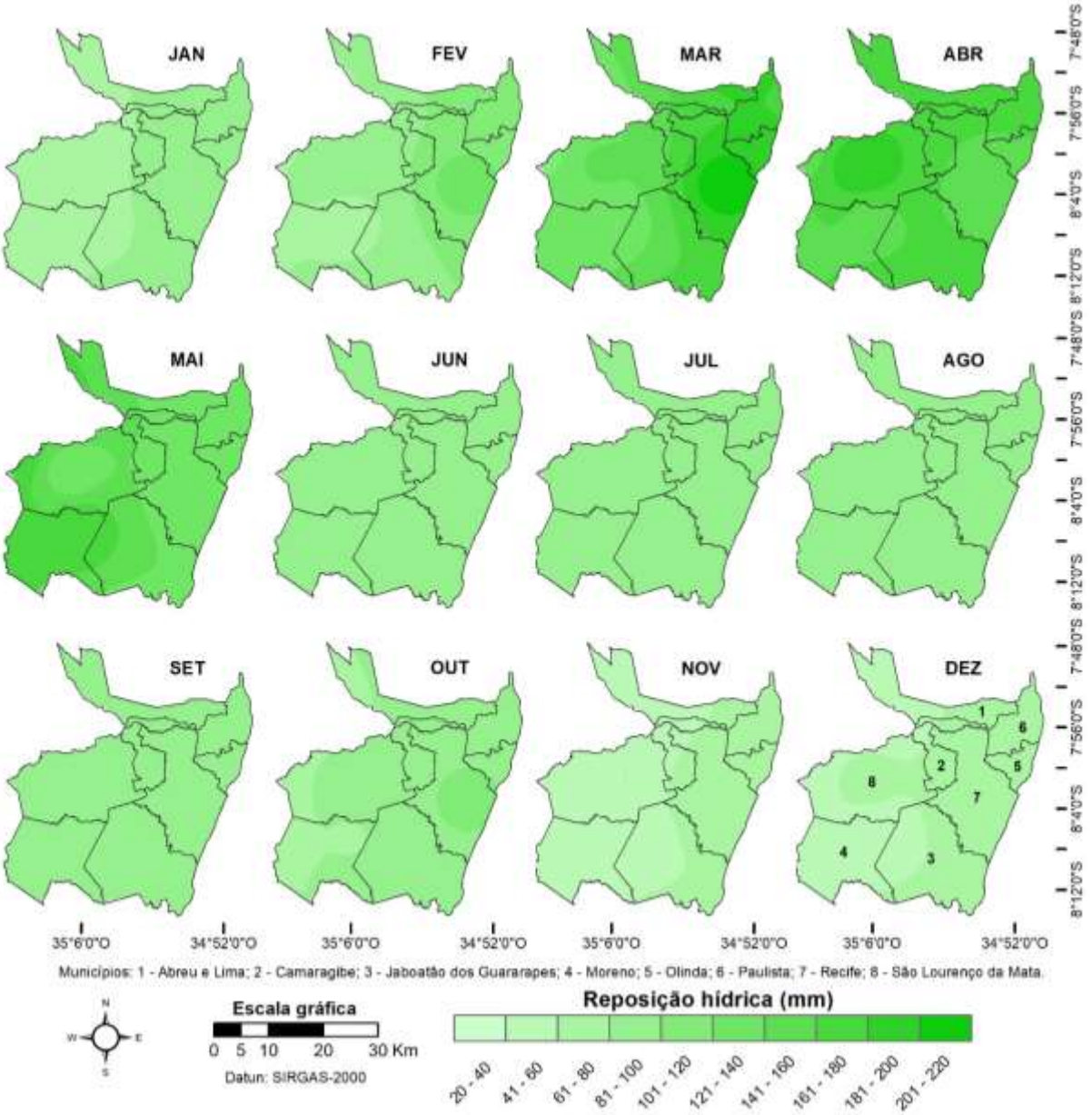
A Figura 19 representa a espacialização da reposição hídrica mensal por meio dos mapas temáticos. Na região oeste da microrregião (parte dos municípios de Abreu e Lima, Camaragibe, Paulista, São Lourenço da Mata, Jaboatão dos Guararapes e Moreno) a reposição

hídrica no mês de janeiro teve uma variação entre 61 a 80 mm, enquanto no leste (municípios de Recife e Olinda e parte de Abreu e Lima, Camaragibe, Paulista e Jaboatão dos Guararapes) obteve um aumento 81 a 100 mm. Em fevereiro a reposição variou entre 61 e 140 mm, sendo as taxas de Moreno menores (61 a 80 mm) e Recife com as maiores reposições hídricas (121 a 140 mm).

Os meses de março, abril e maio apresentam as maiores reposições de água no solo, com valores variando entre 101 a 220 mm, isso ocorre devido ao início da estação chuvosa. Em março a reposição diminui no sentido leste-oeste (do litoral para o interior), variando de 101 a 220 mm, sendo Recife com as maiores taxas (201 a 220 mm) e Moreno predominando as menores (121 a 140 mm).

De junho a setembro a reposição variou na microrregião entre 81 a 100 mm. Em outubro a reposição predominante foi de 81 a 100 mm, tendo uma maior taxa na região central de Recife (101 a 120 mm) e as menores no oeste dos municípios de Abreu e Lima, São Lourenço da Mata e Moreno (61 a 80 mm). Nos meses de novembro e dezembro na região oeste da microrregião a reposição variou entre 41 a 60 mm, aumentando para 61 a 80 mm no leste devido o maior aporte hídrico pela precipitação.

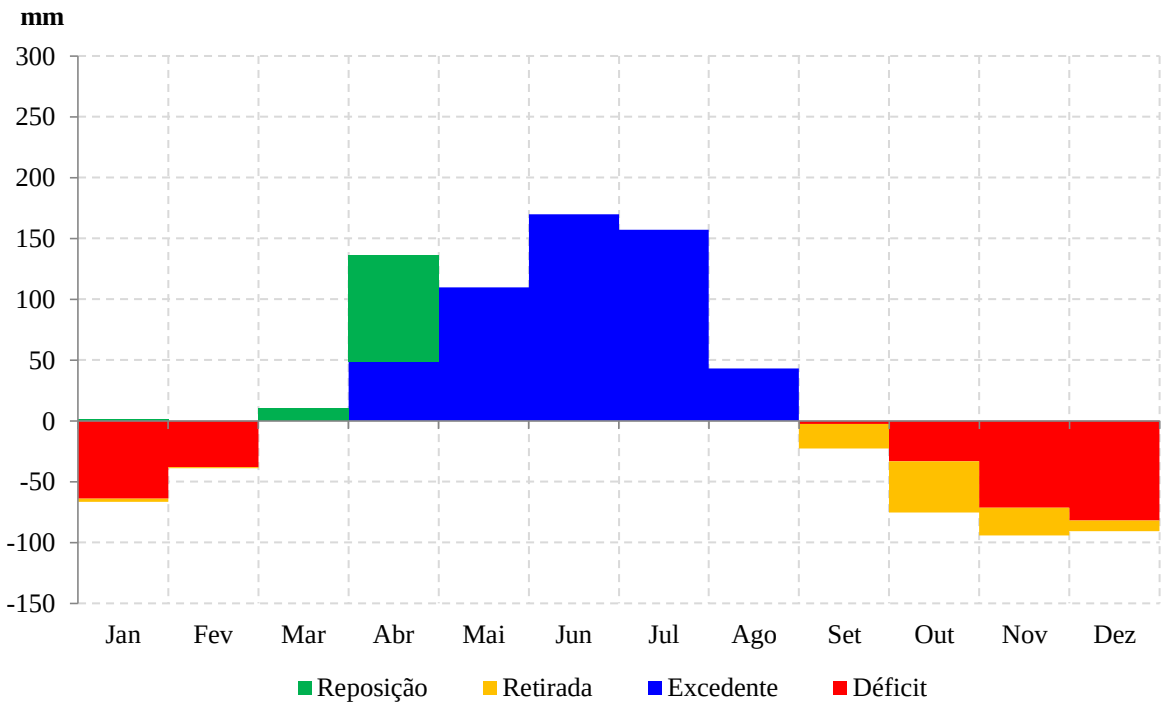
Figura 19 – Mapas da reposição hídrica mensal da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

A Figura 20 representa a reposição, retirada, excedente e déficit hídrico mensal, sendo os dois primeiros representados pela alteração de umidade do solo. A reposição de água no solo ocorre nos meses de março e abril com 10 e 88 mm, respectivamente. Já a retirada ocorre de setembro a fevereiro com um total de retirada de 98 mm, sendo outubro o mês de maior índice com 42 mm, enquanto o menor ocorre em fevereiro com apenas 1 mm. O DEF ocorre no mesmo período da retirada devido ao período de estiagem da região, sendo dezembro o mês de maior DEF e setembro o menor, representados por 81,9 e 2,4 mm, respectivamente. Enquanto que o EXC ocorre de maio a agosto, totalizando 480,4 mm anuais, ao passo que o maior EXC ocorre em junho com 169,9 e em agosto o menor com 43,3 mm.

Figura 20 – Gráfico da reposição, retirada, excedente e déficit hídrica mensal (1967-2017)



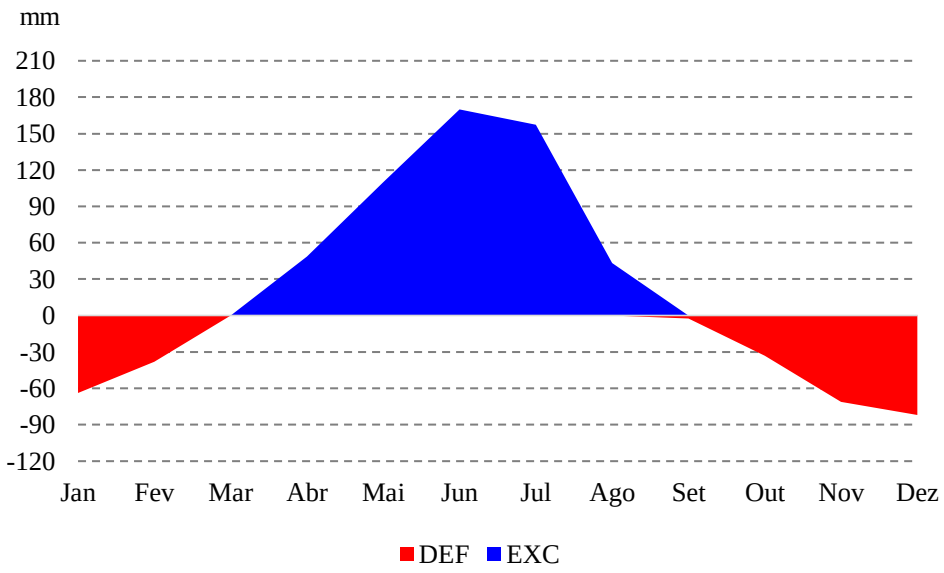
Fonte: O autor (2020).

Matos et al. (2015) ao realizarem a caracterização e aptidão climática para Alhandra (PB), para o período de 1920 a 2013, verificaram que entre novembro e janeiro, ocorreram os maiores *déficits*, oscilando entre 72,7 a 97,6 mm, com total anual de 322,1 mm. Já o EXC ocorre nos meses de abril a agosto, variando entre 45,2 a 221,5 mm, com valor anual de 673,8 mm. A reposição hídrica ocorreu nos meses de março e abril e a retirada entre setembro e fevereiro. Te tal maneira, percebe-se que o município de Alhandra possui semelhanças nos índices hídricos analisados com a microrregião de Recife. Já Medeiros; Francisco; Santos (2015) ao estudarem o BHC para o litoral do estado da Paraíba analisaram o EXC e a DEF. Entre maio e agosto constataram a ocorrência de EXC variando entre 195,7 a 39,7 mm, enquanto a DEF prevalece de setembro a fevereiro, oscilando entre 5,7 mm em setembro a 112,7 no mês de dezembro com um total de 372,3 mm. A ocorrência do EXC e DEF também é semelhante ao da referida microrregião.

A Figura 21 apresenta o gráfico de deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC) no solo. A DEF para a área vai de setembro a fevereiro, oscilando entre 2,4 mm no mês de setembro e 81,9 mm no mês de dezembro. Nos meses de março e abril não foram verificados EXC e DEF, porém se obteve uma reposição hídrica na ordem de 10 mm e 88 mm, respectivamente. O EXC ocorre entre maio e agosto com variação de 169,9 mm em

junho e 43,3 mm em agosto. Anualmente, o EXC da microrregião de Recife da série histórica analisada é cerda de 480 mm.

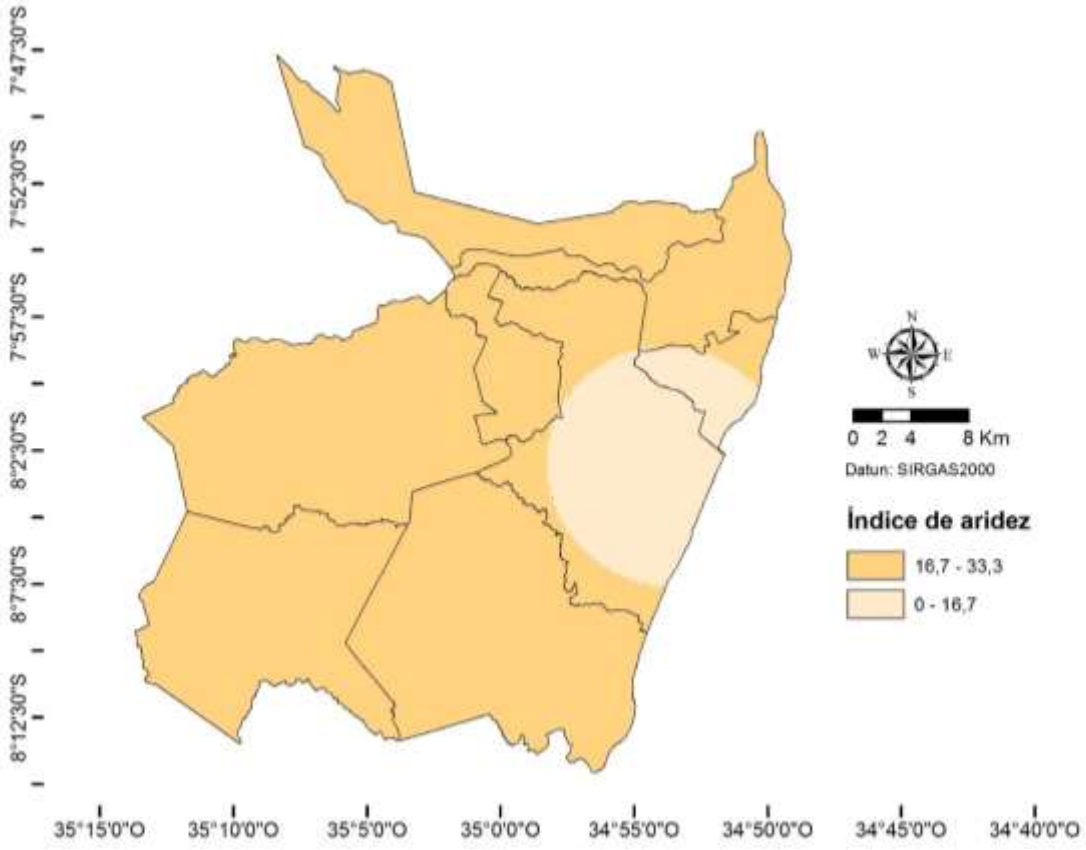
Figura 21 – Gráfico de deficiência e excedente hídrico (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).

A Figura 22 representa a espacialização do índice de aridez (Ia) anual, na qual a maior porção do mapa apresenta o Ia moderado, classe que vai de 16,7 a 33,3 mm, moderada deficiência hídrica no verão, e apenas uma pequena faixa na orla aparece com baixo Ia, classe que varia de 0 a 16,7 mm que significa pequena ou nenhuma deficiência hídrica. A variação espacial da precipitação provoca essa diferença no índice. Duarte; Medeiros; Menezes (2019) ao estudar o BHC de Recife, para a série histórica de 1962 a 2015, encontraram um Ia de 19 mm, que se enquadra no subtipo climático “s”, ou seja, possui moderada deficiência no verão e varia entre 16,7 a 33,33, assim como a maior parte da microrregião do Recife.

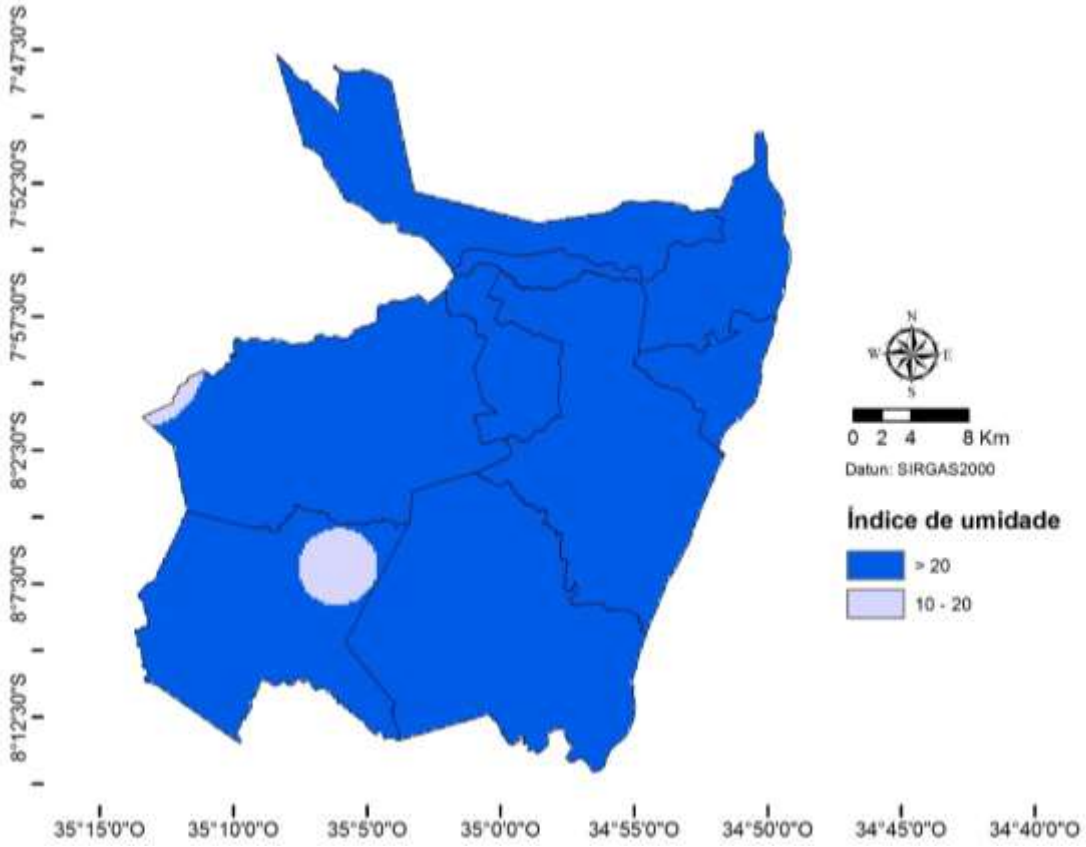
Figura 22 – Mapa do índice de aridez da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

A espacialização do índice de umidade (Iu) da microrregião de Recife representada na Figura 23 expõe que a quase totalidade da área pesquisada possui um elevado índice de umidade com taxas superiores a 20 mm (grande excesso no inverno), enquanto o setor nordeste do município de Moreno e a oeste de São Lourenço da Mata possuem Iu que variam entre 10 a 20 mm (moderado excesso no inverno).

Figura 23 – Mapa do índice de umidade da microrregião de Recife (1967-2017)

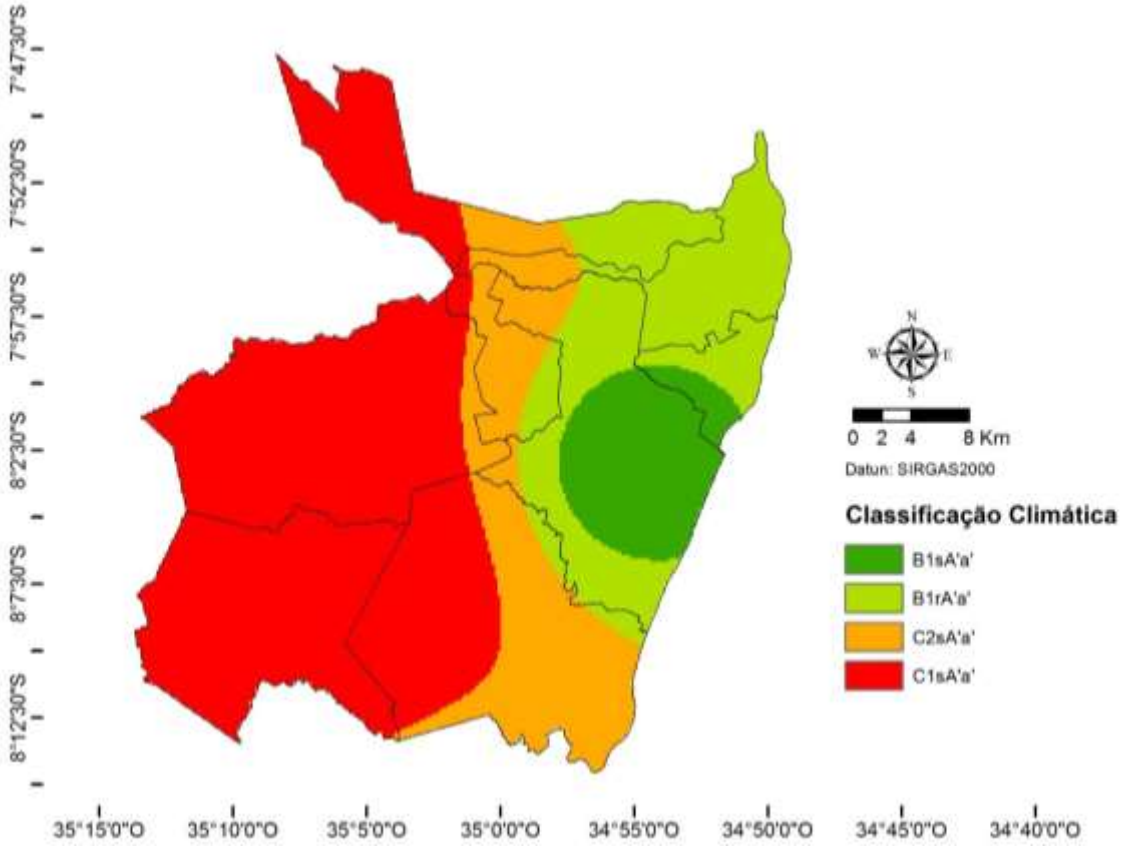


Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

Com base nos subtipos climáticos de Thornthawaite-Mather (1955) proposto no BHC, Silva; Moura; Klar (2014) analisaram que para a mesorregião da zona da mata nos locais mais próximos ao litoral possuem tipos climáticos úmidos (B1, B2, B3, B4); e conforme se afasta do litoral e se aproxima do agreste a precipitação diminui, formando os tipos climáticos mais secos como o subúmido (C2) e subúmido seco (C1).

A Figura 24 demostra a espacialização dos tipos climáticos da área estudada segundo o modelo de Thornthwaite-Mather (1955). Assim, por meio das características climáticas da microrregião de Recife tem-se os seguintes tipos climáticos: B_1sA'a', B_1rA'a', C_2sA'a', C_1sA'a'.

Figura 24 – Mapa da classificação climática da microrregião de Recife (1967-2017)



Fonte: O autor (2020).
Notas: Base de dados do IBGE.

O B_1sA'a' é o tipo climático úmido (B1), cujo o intervalo de Ih varia entre 20 e 40; com moderada deficiência hídrica no verão (s), com Ia entre 16,7 e 33,3, com chuvas acumuladas durante o ano em torno de 1900 a 2300 mm; megatérmico (A'), em que a ETP anual foi maior que 1140 mm, por influência da temperatura média anual que oscila entre 23,1º a 26,4°C; e a ETP no verão (a') é inferior a 48%. Dessa forma, a classificação climática de Thornthwaite-Mather (1955) para a tipologia B_1sA'a' é o clima megatérmico úmido com moderada deficiência hídrica no verão e extremamente quente no verão.

O tipo climático BırA'a' é úmido (B1), Ih varia entre 20 e 40; com pequena ou nenhuma deficiência hídrica (r), Ia variando de 0 a 16,7, com chuvas acumuladas durante o ano em torno de 1700 a 2000 mm; a ETP anual é maior que 1140 mm o que o torna megatérmico (A'), enquanto a ETP do verão (a') ficou abaixo de 48%. Assim, a tipologia BırA'a' refere-se ao clima megatérmico úmido com pequena ou nenhuma deficiência hídrica e extremamente quente no verão.

A classificação climática C_2sA'a' tem por característica ser subúmido (C_2), devido o intervalo de Ih varia entre 0 a 20; com moderada deficiência hídrica no verão (s), pois Ia está entre 16,7 a 33,7, tendo chuvas acumuladas entre 1500 a 1900 mm; megatérmico (A'), cujo a

ETP anual é maior que 1140 mm, já a ETP do verão (a') ficou abaixo dos 48%. Sendo assim, C_2sA'a' trata-se do clima megatérmico subúmido com modera deficiência no verão e extremamente quente no verão.

Por fim, o C_1sA'a' é o subúmido seco (C_1), Ih está entre -33,3 a 0; com moderado excesso no inverno (s) devido o Iu variar entre 10 a 20, com precipitação acumulada em torno de 1200 a 1600 mm anuais; megatérmico (A') com o índice térmico anual maior que 1140 mm, ao passo que a ETP do verão foi inferior a 48%. Com isso, C_1sA'a' representa o clima megatérmico subúmido seco com moderado excesso no inverno e extremamente quente no verão.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os parâmetros de temperatura do ar, precipitação e evapotranspiração potencial analisados na pesquisa demonstraram a sua variabilidade espaço-temporal. Esses influenciam a dinâmica de outros parâmetros, como: ETR, DEF, EXC e reposição hídrica. Tais variações influenciam os índices hídricos, úmido e aridez, os quais são primordiais para a classificação climática. Além disso, o BHC possibilitou a compreensão da alteração de umidade do solo. Os resultados possibilitaram compreender as variações estacionais e espaciais de tais parâmetros, os quais são imprescindíveis o planejamento urbano estratégico, bem como para o abastecimento hídrico.

A realização do BHC proposto por Thornthwaite e Mather (1955) para a microrregião de Recife foi utilizada para apreensão da dinâmica climática espacial e temporal. É característico desta região dois períodos bem definidos: o chuvoso, entre abril e julho; e outro seco, de agosto a março.

A temperatura média do ar da microrregião é elevada, sendo possível verificar os maiores índices entre dezembro a março e os menores a oeste. No mesmo sentido, a ETP apresentou os maiores índices nesses meses (dezembro a março) e os menores de junho a setembro, uma vez que a ETP está diretamente relacionada com a variação da temperatura do ar.

Já a ETR possui elevados valores entre março e maio devido às maiores taxas pluviométricas, enquanto os menores índices ocorreram nos meses de novembro e dezembro. A medida que se distancia do litoral há uma diminuição da ETR devido à menor disponibilidade hídrica no solo. A precipitação diminui consideravelmente entre os meses de agosto a novembro, bem como no sentido leste-oeste. A quadra chuvosa (abril, maio, junho e julho) é influenciada pela frente polar do Atlântico e pelos Distúrbios Ondulatórios de Leste.

É possível identificar o EXC no período de outono-inverno e DEF na primavera-verão. O litoral apresenta maior pluviosidade e, consequentemente, maior EXC, diminuindo gradativamente para oeste, sendo o inverso para a DEF. Não é verificado EXC nem DEF entre março e abril. Os períodos bem definidos de DEF e EXC são caracterizados pela irregularidade espaço-temporal da precipitação.

A classificação climática proposta por Thornthwaite-Mather (1955) revelou os tipos climáticos $B_1sA'a'$, $B_1rA'a'$, $C_2sA'a'$ e $C_1sA'a'$. Essa classificação evidencia também o clima mais úmido no leste da microrregião, sendo essa área mais propicia a alagamentos, enchentes e inundações.

Portanto, é fundamental a continuidade do monitoramento dos parâmetros aqui analisados com o intuído de auxiliar na gestão urbano-ambiental e dos recursos hídricos, de modo que auxilie nas medidas de prevenção e mitigação de desastres. Sugere-se também o monitoramento de sistemas atmosféricos a fim de auxiliar nas tomadas de decisões nas ocorrências de eventos extremos de precipitação.

Recomendam-se ainda políticas públicas que alertem a comunidade sobre o período chuvoso, pois nesse período o solo úmido, com as elevadas precipitações podem propiciar desastres socioambientais.

REFERÊNCIAS

AHMADIPOUR, A.; SHAIBANI, P.; MOSTAFAVI; S. A. Assessment of empirical methods for estimating potential evapotranspiration in Zabol Synoptic Station by REF-ET model. **Medbiotech Journal**, [*S.l.*], v. 3, n. 1, p. 1-4, 2019.

ALMEIDA, H. A. et al. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da microrregião do Seridó ocidental da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*S.l.*], v. 7, n. 5, p. 784-797, 2014.

AL-SUDANI, H. I. Z. Derivation mathematical equations to estimate water surplus and groundwater recharge in Iraq. **Applied Water Science**, [*S.l.*], v. 10, n. 4, 23 mar. p. 1-11 2020a.

AL-SUDANI, H. I. Z. Estimation of Water Surplus and Natural Groundwater Recharge in Iraq. **Journal of University of Babylon for Pure and Applied Sciences**, [*S.l.*], v. 28, n. 1, abr. p. 226–236, 2020b.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#. Acesso em: 5 mar. 2018.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 15. ed. São Paulo: Bertrand, Brasil, 2011.

BANDOC, G.; PRĂVĂLIE, R. Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. **Journal Of Geographical Sciences**, [*S.l.*], v. 25, n. 11, p. 1307-1327, 21 ago. 2015.

BARROS, A. H. C. et al. **Climatologia do estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. p. 32. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 211.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. rev. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BELDA, M. et al. Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. **Climate Research**, [*S.l.*], v. 59, n. 1, p. 1-13, 2014.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BEZERRA, A. P. X. G. **Análise microclimática das condições ambientais em áreas urbanas na cidade do Recife–PE**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de climatologia**, [*S.l.*], v. 2, p. 35-51, dez. 2006.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO. M. B. P. Uma previsão analitiva da evapotranspiração potencial. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, 2000.

CAMPOS, C. R. J.; SILVA, M. V. Impacto de sistemas meteorológicos no regime hídrico do Rio Grande do Sul em 2006. **Revista Brasileira de Geofísica**, [*S.l.*], v. 28, n. 1, jan./mar. 2010.

CARVALHO, H. P. et al. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Biosci. J**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 221-229, mar./abr. 2011.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 377-384, 2005.

CASTRO, M. et al. The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. **Climatic Change**, [*S.l.*], v. 81, p. 329-341, 2007.

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

CECÍLIO, R. A. et al. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 478-488, abr. 2012.

CORAL, A. C.; TOMMASELLI, J. T. G.; LEAL, A. C. Cálculo de balance hídrico usando modelamiento de datos espaciales: estudio aplicado a la cuenca del río Buena Vista, Ecuador. **Revista Formação**, [*S.l.*], v. 1, n. 22, p. 119-137, 2015.

CORRÊA, A. C. B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de geografia,** [*S.l.*], v. 23, n. 3, 2006.

COUTINHO, M. D. L. et al. Balanço Hídrico mensal para dois municípios do estado da Paraíba. **Ciência e natureza**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 160-170, set./dez. 2015.

CRONEMBERGER, F. M. et al. Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro. *In*: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, Curitiba, PR, Brasil. **Anais** [...], p. 5745-5752, 2011.

DUARTE, J. F. M.; MEDEIROS, R. M.; MENEZES, H. E. A. Aptidão climática para o cultivo de caju no município de Recife, Pernambuco, Brasil. **Revista Equador,** [*S.l.*], v. 8, n. 1, p. 82-98, 2019.

ELGUINDI, N. et al. Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21 st century using a modified Thornthwaite climate classification. **Climatic Change**, [*S.l.*], v. 122, n. 4, p. 523-538, dez. 2013.

FEDDEMA, J. J. Uma classificação climática global revisada do tipo Thornthwaite. **Geografia Física**, [*S.l.*], v. 26, p. 442-466, 2005.

FERNANDES, G. S. T. et al. Classificação climática e aptidão agrícola para Bom Jesus-PI em diferentes cenários climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [*S.l.*], v. 5, n. 1, p. 38-48, 2020.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia,** [*S.l.*], v. 1, n. 1, dez. 2005.

FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semi–áridas. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. suplem., p. 84–95, 2005.

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do Balanço Hídrico Climatológico para cidades de São Paulo e para Paris. **Revista Franco-Brasileira de Geografia,** São Paulo, n. 4, 2008. Disponível em: http://journals.openedition.org/confins/4733. Acesso em: 27 fev. 2020.

GHARBIA, S. S. et al. Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. **Science Of The Total Environment**, [*S.l.*], v. 633, p. 571-592, ago. 2018.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. Encostas urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife - PE. **Revista de geografia,** [*S.l.*], v. 24, n. 3, 2007.

GRUNDSTEIN, A. Assessing Climate Change in the Contiguous United States Using a Modified Thornthwaite Climate Classification Scheme. **The Professional Geographer**, [*S.l.*], v. 60, p. 398–412, 2008.

GUTIÉRREZ, E. S. et al. Assessment of hydric balance through climatic variables, in the Cazones River Basin, Veracruz, Mexico. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [*S.l.*], v. 8, n. 3, p. 104-117, 20 dez. 2013.

HENDRICKS, N. P. Potential Benefits from Innovations to Reduce Heat and Water Stress in Agriculture. **Journal Of The Association Of Environmental And Resource Economists**, [*S.l.*], v. 5, n. 3, p. 545-576, jul. 2018.

HOLANDA, R. M. et al. Balanço hídrico climatológico e decadal do município de Monteiro, sertão paraibano, Brasil. **Revista científica multidisciplinar**, [*S.l.*], v. 2, n. 5, 2021.

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

HORIKOSHI, A. S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 33-46, 2007.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Cidades e Estados. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/. Acesso em: 23 set. 2021.

JESUS, J. B. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. **Scientia plena**, v. 11, n. 5, 2015.

JESUS, T. C. L. et al. Impacto do aumento da concentração atmosférica de co2 no balanço hídrico climatológico do cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, [*S.l.*], v. 21, p. 313 – 326, nov. 2017.

LI, C. et al. Spatial and temporal evolution of climatic factors and its impacts on potential evapotranspiration in Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. **Science Of The Total Environment**, [*S.l.*], v. 589, p. 165-172, jul. 2017.

LUTZ, J. A.; VAN WAGTENDONK, J. W.; FRANKLIN, J. F. Climatic water deficit, tree species ranges, and climate change in Yosemite National Park. **Journal Of Biogeography**, [*S.l.*], v. 37, n. 5, p. 936-950, maio 2010.

LIMA, A. P. Estudo da relação entre a umidade do solo, a temperatura dos alvos e a presença de vegetação em natal (RN). **Revista gestão e sustentabilidade ambiental,** Florianópolis, v. 9, p. 553-569, fev. 2020.

LOPES, I.; MELO, J. M. M.; LEAL, B. G.; Espacialização da temperatura do ar para a região do submédio São Francisco. **Irriga,** Botucatu, v. 22, n. 1, p. 177-193, jan./mar. 2017.

LUCENA, J. A. et al. Eventos extremos de lluvia y riesgo hidroclimático en zona de la mata - Pernambuco / Brasil. **Investig. Geogr. Chile**, [*S.l.*], n. 51, p. 81-90, 2016.

MARCUZZO, F. F. N. Distribuição espacial da sazonalidade da precipitação pluviométrica no mato grosso do sul e estudo de anomalias interanual. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 22-39, jan./mar. 2014.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Caracterização do ano hidrológico e mapeamento das chuvas nos períodos úmidos e secos do estado do Tocantins. **Revista brasileira de geografia física**, [*S.l.*], v. 6, n. 1, p. 91-99, 2013.

MARTINS, P. A. S. et al. Classificações climáticas, evapotranspiração potencial e balanço hídrico: uma abordagem atual de diferentes métodos. In: MARIANO, Glauber Lopes; NUNES, André Becker (org.). **Meteorologia em Tópicos:** volume 6. Maceió: Clube de Autores, 2020. Cap. 3. p. 120-176.

MATOS, R. M. et al. Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [*S.l.*], v. 9, n. 3 p. 183-192, 2015.

MEDEIROS, R. M. Método da classificação climática de Köppen e Thornthwaite aplicado ao munucípio de Bom Jesus – PI, Brasil. **Brazilian journal of agroecology and sustainability**, [*S.l.*], v. 1, n. 2, 2019.

MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. Balanço hídrico e erosividade em função das mudanças climáticas no estado da Paraíba. **Revista brasileira de geografia física**, [*S.l.*], v. 08, n. 04, 2015.

MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; FERREIRA, G. L. Palma forrageira e caju, suas aptidões e zoneamento agroclimático para o município de Recife. *In*: I CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2016, Vitória de Santo Antão. **Anais** [...]. Vitória de Santo Antão: PDVAgro, 2016.

MEDEIROS, R. M. et al. Análise climatológica, classificação climática e variabilidade do balanço hídrico climatológico na bacia do rio Uruçui Preto, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*S.l.*], v. 6, n. 4, p. 652-664, 2013.

MEDEIROS. S. R. R. et al. Potencial agroclimático para Alpinia purpurata no Estado de Pernambuco. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental,** [*S.l.*], v. 13, n. 2, p. 165-169, 2009.

MONTEIRO, R. N. F. et al. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Groaíras-CE. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina - PE. **Anais** […] Petrolina – PE: ABID, 2011.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNCIO, J. D. Especialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM - LANNDSAT 7. **Revista de geografia,** Recife, v. 24, n. 3, set./dez. 2007.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. Influência da expansão urbana em Recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5. **Revista de Geografia (UFPE)**, [*S.l.*], v. 30, n. 2, 2013.

MOURA, A. E. S. S. et al. Precipitação efetiva nos períodos chuvosos e poucos chuvosos em um fragmento da Mata Atlântica, Recife - PE. **Revista brasileira de Recursos Hídricos**, [*S.l.*], v. 17, n. 4, 2012.

NASCIMENTO, G. V. S.; RIBEIRO, E. P.; MOREIRA, E. B. M. Classificação climática da microrregião de Recife – PE. **Geopauta**, [*S.l.*], v. 4, n. 2, p. 124-145, 2020.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia USP**, [*S.l.*], v. esp, p. 70-82, 2016.

OLIVEIRA, J. Â, M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos-MG. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, [*S.l.*], v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

OLIVEIRA, Í. P.; CRUZ, M. L. B. Classificação climática de Thornthwaite e Mather na Serra de Baturité e entorno. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Universidad Federal de Santa Maria, v. 23, p. 35, jan. 2020.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, [*S.l.*], v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 83-89, 2017.

PERNAMBUCO. BASE DE DADOS DO ESTADO. **Divisão Geopolítica**. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/mesorregioes.aspx>. Acesso em: 20 de maio de 2020.

PERNAMBUCO. BASE DE DADOS DO ESTADO. **Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=308&Cod=1>. Acesso em: 23 set. 2021.

PORTILHO, A. P. et al. Balanço hídrico para Pinheiral, Rio de Janeiro. **Revista agroambiental**, [*S.l.*], v. 3, n. 2, ago. 2011.

RIBEIRO, E. P.; SOUZA, C. S.; Caracterização e classificação climática da microrregião de Vitória de Santo Antão. **Revista Continentes,** [*S.l.*], n. 12, 2018.

SILVA, A. C. et al. Mudanças do uso e ocupação da terra a partir da expansão urbana e as influências climáticas sobre a morfodinamica no município do Recife/PE entre 1975 e 2015. **Revista cerrados,** [*S.l.*], v. 13, n. 1, 2015.

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

SILVA, C. B. et al. Dinâmica atmosférica e análise geoestatística do clima da área de integração paisagística "raia divisória" SP/PR/MS: uma proposta de tipologia climática. **Revista brasileira de climatologia,** [*S.l.*], v. 2, p. 53–70, 2006.

SILVA, L. É. P.; BRACHT, E. C. Uma nova abordagem para o cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista brasileira de computação aplicada**, Passos Fundo, v. 2, n. 1, p. 2-16, mar. 2010.

SILVA, M. M.; FERREIRA, V. O. Pluviometria e balanço hídrico da bacia do rio Paranaíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [*S.l.*], v. 8, n. 5, 2015.

SILVA, P. L. F.; NASCIMENTO, R. de S. Climatological water balance and aridity index to municipalities of the micro-region of Guarabira, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, São Paulo, Brazil, v. 14, n. 2, p. 125–139, 2020.

SILVA, S. N. et al. Efeitos da escassez hídrica na economia do perímetro irrigado de São Gonçalo, Paraíba. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [*S.l.*], v. 12, n. 1, p. 132-137, 2017.

SILVA, V. M. A.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, C. A. C.; Análise da climatologia da precipitação em Recife e eventos extremos de chuva. In: FRANCISCO et al. (Orgs.). **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação,** v. 1, n. 3, cap. 6. Campina Grande: EPGRAF, 2018.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, G. S. et al. Krigagem ordinária e inverso do quadrado da distância aplicados na espacialização de atributos químicos de um argissolo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 73-81, 2010.

SOUZA FILHO, J. L. M.; GOMES, S. Avaliação e desempenho de equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista. **Acta Sci. Agron**., Maringa, v. 29, n. 4, p. 433-443, 2007.

SOUZA, S. O. et al. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. **Revista brasileira de geografia física**, [*S.l.*], v. 7, n. 1, 2014.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia ambiental**, [*S.l.*], v. 6, n. 3, p. 462-472, 2009.

TERASSI, P. M. B. SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó – PR. **Revista formação**, [*S.l.*], v. 1, n. 20, p. 111-128, 2013.

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

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, publications in Climatology. New Jersey, v. 8, n. 1, 104 p., 1955.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2. Recife, 2006.

WANDERLEY, L. S. A. et al. As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. **Revista brasileira de climatologia,** [*S.l.*], v. 22, p. 149-164, 2018.

WERLANG, M. K.; WERLANG, E. P. Balanço hídrico e classificação climática de thornthwaite do bairro Camobi, Santa Maria, RS. **Geografia ensino & pesquisa**, v. 25, 2021.

XIANG, K. et al. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. **Agricultural Water Management**, [*S.l.*], v. 232, p. 1-16, abr. 2020.

XU, C. Y.; SINGH, V. P. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. **Journal Of Hydrology**, [*S.l.*], v. 308, n. 1-4, p. 105-121, jul. 2005.

YILMAZ, E.; ÇIÇEK, İ. Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. **Journal of Human Sciences**, [*S.l.*], v. 13, p. 3973-3994, 2016.