Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology

OPEN ACCESS

DOI: 10.5380/abclima

Seção Temática: Prêmio ABClima "Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro" - Edição 2021

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE

Climatological Water Balance and Climate Classification of the State of Rio Grande do Norte

Balance Climatológico Hídrico y Clasificación Climática del Estado de Rio Grande do Norte

Alíbia Deysi Guedes da Silva
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
alibiadeysi.prof@gmail.com

Ana Lorena Bezerra Dos Santos
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
ana.lorena.095@ufrn.edu.br

Jessiana Mércia Dos Santos
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
jessiana16@gmail.com

Rebecca Luna Lucena
Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
rebeccaosvaldo@yahoo.com.br

Resumo: O estado do Rio Grande do Norte apresenta características naturais de irregularidade pluviométrica, seja espacial ou temporalmente, e isso desperta preocupação frente às ocorrências de crises hídricas e ao planejamento agrícola. O Balanço Hídrico Climatológico (BHC) é uma ferramenta de estimativa da dinâmica de água no solo que passa a ser fundamental para garantir sucesso à atividade agrícola, principalmente, na carência de irrigação. A classificação do clima permite estabelecer o potencial do meio físico para o local. Assim, objetivou-se estimar e analisar o Balanço Hídrico Climatológico de Thornthwaite-Mather (1955) e classificar o clima conforme proposta de Thornthwaite (1948) para o estado do Rio Grande do Norte (RN). Foram utilizados dados de 122 postos

pluviométricos da série histórica da Sudene (1990). Para o cálculo do BHC, foi adotado o valor de 100 mm para a Capacidade de Água Disponível (CAD). A Classificação Climática foi obtida por meio dos valores do Índice Hídrico (Ih), Índice de Aridez (Ia) e Índice de Umidade (Iu). Os dados mostraram que a altitude é bastante influente para o clima do estado, dessa forma, a classificação revelou 7 tipos climáticos para o RN, onde predomina o clima semiárido e o subúmido seco, com pequeno ou nenhum excedente hídrico, já que 62% mostraram resultado nulo, tipo climático megatérmico em 118 pontos e concentração restrita de 25% a 28% de evapotranspiração potencial no verão.
Palavras-chave: Índice de Aridez. Semiárido Brasileiro. Thornthwaite-Mather.

Abstract: The state of Rio Grande do Norte presents natural characteristics of rainfall irregularities, either spatially or temporally, this raises concern in the face of occurrences of water crises and agricultural planning. The Climatological Water Balance (CLIMWB) is a tool for estimating the dynamics of water in the soil that becomes essential to ensure success to agricultural activity, especially in the absence of irrigation. The climate classification allows establishing the potential of the physical environment for the site. Thus, the objective was to estimate and analyze the climatological water balance of Thornthwaite-Mather (1955) and classify the climate according to the proposal of Thornthwaite (1948) for the state of Rio Grande do Norte (RN). Data from 122 rainfall stations of the Sudene historical series (1990) were used. For the CLIMWB calculation, the value of 100 mm was adopted for the Available Water Capacity. The Climate Classification was obtained through the values of the Water Index, Aridity Index and Humidity Index. The data showed that the altitude is very influential for the climate of the state, in this way, the classification revealed 7 climatic types for RN, being predominant the semi-arid climate and the dry subhumid, with little or no hydro surplus, since 62% showed null result, mega thermal climatic type in 118 points and restricted concentration of 25% to 28% of potential evapotranspiration in the summer.
Keywords: Aridity indices. Brazilian semiarid. Thornthwaite-Mather.

Resumen: El estado de Rio Grande do Norte presenta características naturales de irregularidad pluviométrica, ya sea espacial o temporalmente, y esto genera preocupación ante la ocurrencia de crisis hídricas y de planificación agrícola. El Balance Hídrico Climatológico (BHC) es una herramienta de estimación de la dinámica del agua en el suelo que se hace imprescindible para garantizar el éxito a la actividad agrícola, especialmente en ausencia de riego. La clasificación climática permite establecer el potencial del entorno físico del lugar. Así, se pretendió estimar y analizar el Balance Hídrico Climatológico de Thornthwaite-Mather (1955) y clasificar el clima propuesto por Thornthwaite (1948) para el estado de Rio Grande do Norte (RN). Se utilizaron los datos de 122 estaciones pluviométricas de la serie histórica de Sudene (1990). Para el cálculo del BHC, se adoptó el valor de 100 mm para la Capacidad de Agua Disponible (CAD). La clasificación climática se ha obtenido mediante los valores del Índice Hídrico, el Índice de Aridez y el Índice de Humedad. Los datos mostraron que la altitud es muy influyente para el clima del estado, de esta manera, la clasificación reveló 7 tipos climáticos para RN, siendo predominante el clima semiárido y el subhúmedo seco con poco o ningún excedente hídrico, ya que 62% mostró resultado nulo, tipo climático megatérmico en 118 puntos y concentración restringida de 25% a 28% de la evapotranspiración potencial en verano.
Palabras clave: Índice de Aridez. Semiárido Brasileño. Thornthwaite-Mather.

Submetido em: 08/10/2021
Aceito para publicação em: 16/03/2022
Publicado em: 10/06/2022

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de grande extensão territorial com predominância de climas quentes e úmidos, à exceção da mancha semiárida localizada no interior da região Nordeste do país (ALVARES *et al.*, 2013). A maioria de suas terras encontra-se entre a linha do Equador e o trópico de Capricórnio, dessa forma, pode-se considerar a latitude junto à altitude como os principais fatores geográficos que ajudam a definir seu clima. Estes, associados aos padrões de circulações global e regional da atmosfera, caracterizam a distribuição heterogênea da água precipitada ao longo da sua extensão territorial.

Com relação à região Nordeste do país, grandes parcelas territoriais particularizam carência na disponibilidade de água decorrentes das secas estacionais e periódicas, determinantes do sucesso (ou não) das atividades agrícola e pecuária, bem como no consumo geral da população (SÁ; SILVA, 2010). A relação entre recursos hídricos e produção agrícola existe desde as mais antigas civilizações (DREW, 2005), conduzindo o uso das águas dos rios e reservatórios para produção e irrigação das plantações. Essas práticas permanecem até os dias atuais, cujos colapsos são recorrentes em regiões semiáridas.

O estado do Rio Grande do Norte, situado na região Nordeste do Brasil, possui cerca de 93% de seu território sob domínio climático semiárido (VALE *et al*., 2020), prezando os critérios estabelecidos pela SUDENE (2019), que são: precipitação ≤800 mm/ano; o índice de aridez ≤0,50 e o percentual diário de *déficit* hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. Tal condição exprime irregularidades na distribuição espaço-temporal das precipitações, cujos volumes concentram-se em curto período e abrangência de espaço, além dos elevados valores de temperaturas (>24 °C) e de evapotranspiração potencial, os quais dependem de outras condições, como a ocorrência de elevada radiação solar e baixa umidade relativa do ar (LUCENA *et al*., 2018; VALE *et al.*, 2020).

Apesar de sua condição de semiaridez, o Rio Grande do Norte possui o correspondente de 4,4% do setor agropecuário em participação no valor do Produto Interno Bruto (PIB), sendo 1,2% destinado à agricultura (IBGE/IDEMA, 2018). Esses números são reflexos daqueles municípios banhados pelos rios Piranhas-Açu e Apodi-Mossoró, visto que, além de serem beneficiados pela maior disponibilidade da água ao longo de todo o ano, a densidade técnica e tecnológica recebe maiores investimentos quanto à irrigação (AZEVEDO, 2013).

As condições climáticas e hidrológicas de uma determinada região são os principais indicadores para avaliar as suas disponibilidades hídricas. Por conseguinte, são basilares para instituir estratégias de manejo das produções agrícola e pecuária, dado que são atividades econômicas diretamente relacionadas aos elementos do clima, assim como para o abastecimento popular. A tecnologia deve estar ligada à gestão integrada dos recursos hídricos, incluindo a ciência e a educação, buscando sempre uma menor dependência dos eventos meteorológicos naturais, o que tornam os estudos hidroclimatológicos importantes.

Assim, a dimensão da água disponível em uma determinada localidade pode ser estimada a partir do cálculo do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), que segundo a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), contabiliza as entradas e as saídas das variáveis hidroclimáticas, como a precipitação pluvial e evapotranspiração potencial, respectivamente. Ambas são variáveis opostas e refletem no déficit e no excedente de água/umidade do solo. Nesse contexto, a análise dos parâmetros climáticos do BHC torna-se uma ferramenta de monitoramento do armazenamento de água no solo, utilizada como instrumento auxiliar na tomada de decisões estratégicas para o desenvolvimento das culturas agrícolas, haja vista que permite classificar o clima de uma região, determinar zoneamentos agroclimáticos, o período de excedente e deficiência hídrica no solo, tanto mensais quanto anuais, além de contribuir no controle de irrigação (PEREIRA *et al.*, 2002).

No tocante à Classificação Climática, a proposta de Thornthwaite (1948) é realizada com base nos resultados do BHC que considera o Índice de Umidade, o Índice Hídrico, o Índice de Aridez, a eficiência térmica anual (admite-se a ação da temperatura e da luz solar no desempenho fisiológico das plantas) e a concentração da eficiência térmica no verão em função da evapotranspiração potencial (NIMER; BRANDÃO, 1989). Desse modo, o trabalho em apreço tem por objetivo principal estimar e analisar o Balanço Hídrico Climatológico e classificar o clima do estado do Rio Grande do Norte, conforme metodologias de Thornthwaite-Mather (1955) e Thornthwaite (1948).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo e Coleta dos Dados Atmosféricos

O estudo foi aplicado ao estado do Rio Grande do Norte, localizado no Nordeste setentrional entre as coordenadas latitudinais e longitudinais – 04° 49’ 53” S e 37° 15’ 11” O ao norte; 06° 58’ 57” S e 36° 43’ 01” O ao sul; 06° 29’ 18” S e 35° 58’ 03” O ao leste e 06° 23’ 23” S e 38° 36’ 12” O a oeste (IDEMA, 2019).

Os dados de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar foram coletados na série histórica da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (1990). As médias mensais e anuais foram computadas e reunidas pelo Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (DCA/UFCG), de 1911 a 1990. No total, foram utilizadas as médias mensais de precipitação e temperatura do ar de 122 postos pluviométricos os quais abrangem o território do estado (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de Localização dos Postos Pluviométricos utilizados**.**



Fonte: Sudene (1990).

O refinamento das informações foi tabulado no *software* Microsoft Excel 2013, a partir da planilha elaborada por Rolim *et al.* (1998) do Departamento de Ciências Exatas (DCE - ESALQ / USP), que está em consenso com os estudos de Thornthwaite-Mather (1955) para o BHC.

2.2. Cálculo do BHC e Classificação Climática

O cálculo do Balanço Hídrico Climatológico foi realizado com base em duas variáveis: precipitação e temperatura do ar. Adotou-se o valor padrão de 100 mm para a Capacidade de Água Disponível (CAD). A planilha (DCE – ESALQ/USP) retorna resultados da evapotranspiração potencial (ETP), com suporte no método de Thornthwaite (1948); da evapotranspiração real (ETR), por meio dos valores de precipitação (P) e ETP; do armazenamento de água do solo (ARM), da deficiência hídrica (DEF); do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água (ARM); além de gráficos dinâmicos para análise dos resultados.

A tipologia climática construída neste trabalho está fundamentada no sistema de classificação de Thornthwaite (1948). Para tal, utilizou-se o quantitativo da DEF, EXC e ETP derivados do BHC, cujos resultados foram avaliados a partir de três (3) principais índices climáticos e correlacionados em quatro (4) chaves qualitativas.

O Índice Hídrico representa o excesso hídrico expresso em porcentagem da necessidade representada pela evapotranspiração potencial anual, segundo a equação:

$$Ih = \left(\frac{EXC}{ETP}\right).100 \quad (1)$$

O índice de Aridez é definido em função da deficiência hídrica pela evapotranspiração potencial, ambas anuais, seguindo a seguinte expressão:

$$Ia = \left(\frac{DEF}{ETP}\right).100 \quad (2)$$

A equação três (3) corresponde ao Índice de Umidade o qual relaciona os dois índices acima e é responsável por determinar o tipo climático do local. Esse índice representa a condição climática que abrange os períodos úmidos e secos durante o ano.

$$Iu = Ih - 0{,}6\,.\,Ia \quad (3)$$

A primeira chave é analisada com base no Índice de Umidade que resulta em dois grupos de climas: úmido (Iu positivo) e seco (Iu negativo). O tipo climático é representado por uma letra maiúscula (Tabela 1).

Tabela 1- Tipos Climáticos com base no Índice de Umidade (Iu).

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

Fonte: Pereira *et al.* (2002).

A segunda chave é definida a partir dos Índices Hídrico e de Aridez, conforme Iu (Iu>0 ou Iu<0) e classifica o subtipo climático. Se a área pesquisada pertencer ao grupo úmido, considera-se o Índice de Aridez (Ia), caso o local pertença ao grupo seco, relaciona-se o Índice Hídrico (Ih). Essa chave é simbolizada por uma letra minúscula, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Subtipos Climáticos baseados no Índice de Aridez e Índice Hídrico para a chave 2.

Climas úmidos (A, B4, B3, B2, B1 e C2)	Índice de Aridez (Ia)	Clima secos (C1, D e E)	Índice Hídrico (Ih)
r – pequena ou nenhuma deficiência de água	0 – 16,7	**d** – pequeno ou nenhum excesso de água	0 – 10
s – moderada deficiência no verão	16,7 – 33,33	**s** – moderado excesso de inverno	10 – 20
w – moderada deficiência no inverno	16,7 – 33,33	**w** – moderado excesso de verão	10 – 20
s_2 – grande deficiência no verão	> 33,33	**s_2** – largo excesso de inverno	20
w_2 – grande deficiência no inverno	> 33,33	**w_2** – largo excesso de verão	20

Fonte: Pereira *et al.* (2002).

Totalizando quatro chaves para a Classificação Climática de uma área, as duas últimas são calculadas por meio do Índice de Eficiência Térmica anual (IT) e a concentração dessa eficiência durante o verão, respectivamente. Portanto, a chave três (3), com base no IT, é o correspondente anual da ETP, pois se considera a ação da temperatura e da radiação solar no desenvolvimento das plantas aplicadas no cálculo da evapotranspiração potencial. Do mesmo modo, a eficácia da temperatura e da luz solar deve ser maior na estação do verão, variando conforme a angulação do Sol. Sendo assim, a ETP no verão (ETPv) é calculada pela razão entre a ETPv e a ETP anual em porcentagem.

A Tabela 3 apresenta os tipos e subtipos climáticos quanto à eficiência térmica do local a partir da evapotranspiração potencial anual e porcentagem concentrada durante o verão.

Tabela 3- Tipo e Subtipo Climático em acordo com o Índice Térmico para as chaves 3 e 4.

Tipo climático	Índice térmico (ETP anual)	Subtipo climático	Concentração da ETP no verão (%)
A' - megatérmico	≥ 1.140	**a'**	< 48%
B'4 - mesotérmico	997 – 1.140	**b'4**	48 – 51,9
B'3 - mesotérmico	855 – 997	**b'3**	51,9 – 5673
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 – 88,00
D' - tundra	142 – 285	**d'**	> 88,00
E' – gelo perpétuo	< 142		

Fonte: Pereira *et al.* (2002).

2.3. Elaboração dos Mapas

Na metodologia utilizada, os mapas e as representações foram elaborados no programa QGIS (versão 3.16.5) pelo método estatístico de interpolação Ponderação pelo Inverso da Distância, em inglês *Inverse Distance Weighting* (IDW), com projeção cartográfica policônica. O IDW atribui valor para um local não medido utilizando os valores amostrais de pontos próximos com peso menor, ou seja, a influência de cada ponto é proporcional ao inverso da distância (GARDIMAN JUNIOR *et al.*, 2012).

Excepcionalmente, para gerar a espacialização dos dados mensais de precipitação, foram adicionados postos pluviométricos situados nos estados da Paraíba e Ceará com

proximidade geográfica à área de estudo, o Rio Grande do Norte, de modo a obter mais acurácia.

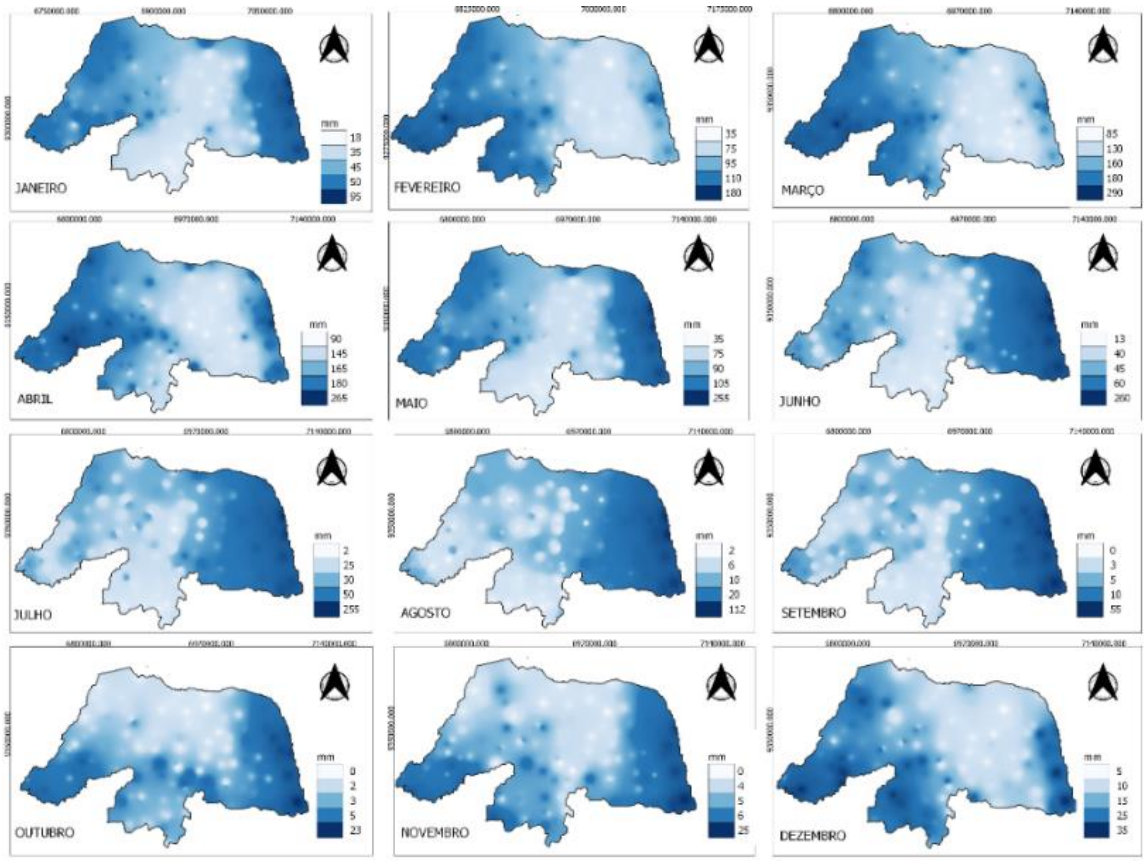
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Balanço Hídrico Climatológico do Rio Grande do Norte

A água precipitada é o elemento de entrada mais importante para o Balanço Hídrico Climatológico de uma localidade. Ela pode definir a quantidade de irrigação necessária para a cultura desejada (OMETTO, 1981). No tocante ao Rio Grande do Norte (RN), o principal sistema de grande escala causador de precipitações é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), atuando em todo o estado no primeiro semestre do ano (MELO *et al.*, 2009).

No que concerne à precipitação, a distribuição espacial mensal para o RN está representada na Figura 2. Consoante os dados coletados, a maior média pluviométrica para o estado é registrada no mês de março (291,7 mm), e a menor média no mês de setembro.

Figura 2 - Precipitação mensal do Rio Grande do Norte.



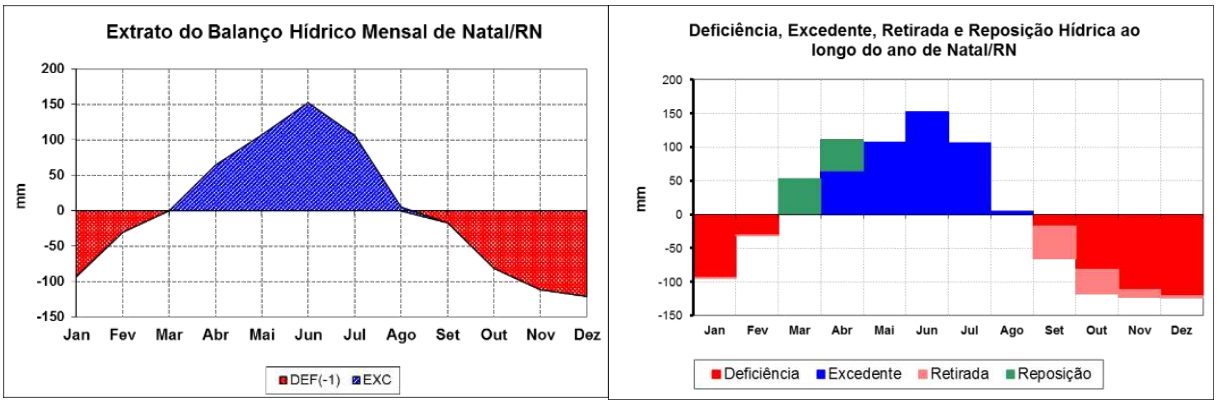
Fonte: dados da pesquisa, SUDENE (1990).

Os dados médios mensais de precipitação obtidos concentram-se nas estações verão-outono, estendendo-se ao mês de julho no litoral leste e porção oriental das regiões imediatas de São Paulo do Potengi, Santa Cruz e João Câmara, especialmente, da região imediata Santo Antônio-Passa e Fica-Nova Cruz, situada na porção sudeste. A precipitação decresce no mês de agosto.

Dessa forma, os resultados dos postos situados em áreas do litoral leste, como Jacumã (Ceará-Mirim), Natal, Canguaretama, São Gonçalo do Amarante, Touros, entre outros, apresentaram as maiores ocorrências de precipitação. A Figura 3 mostra excedente hídrico para Natal de março a agosto, a partir da capacidade de campo de 100 mm utilizada neste estudo. O excesso total de 435 mm representa a quantidade de água que sobrou do período chuvoso, acima da potencialidade do reservatório do solo, ou seja, o ARM>CAD, no entanto, a reposição acontece logo que a precipitação extrapola a ETP, enquanto o ARM for menor que a CAD (ARM<CAD).

Ainda na Figura 3, os 6 meses de deficiência hídrica (455,7 mm) correspondem à falta de água no solo calculada por meio da diferença entre as evapotranspirações potencial e real (ETP-ETR). Os maiores valores de DEF são observados no trimestre novembro-dezembro-janeiro devido à carência de *input* (entrada) de água (NIMER; BRANDÃO, 1989).

Figura 3-Extrato de excedente e deficiência hídrica para o município de Natal/RN.

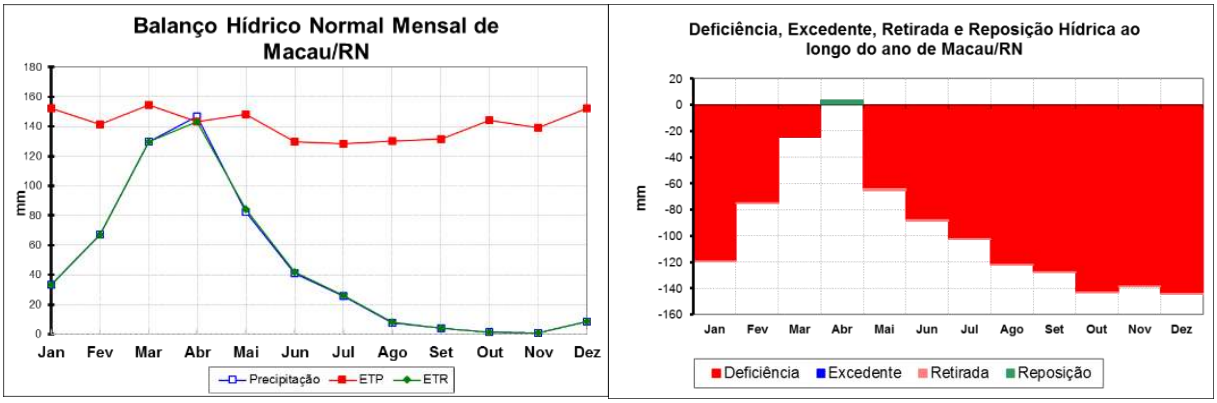


Fonte: dados da pesquisa (2021).

Em contrapartida, o litoral setentrional está sob isoietas 500/600, a exemplo dos municípios Macau (548,9) e Areia Branca (619,5). A Figura 4 mostra que Macau comporta deficiência hídrica em 11 meses do ano (1.146,2 mm), sendo o trimestre fevereiro-março-abril

com os menores valores. Isso ocorre em razão da entrada de água precipitada ocasionada pela ação da ZCIT, a qual consegue *input* de água suficiente para zerar o *déficit* no mês de abril. Entretanto, não é suficiente para computar perda de água por excesso, ou seja, calcular entrada de valor no excedente hídrico, pois será usada para reposição devido à precipitação superar a ETP no referido mês (P>ETP) e o ARM não atingir a Capacidade de Água Disponível de 100 mm. Portanto, é a porção mais seca do litoral potiguar.

Figura 4 - Extrato do déficit e excedente hídrico para o município de Macau/RN.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

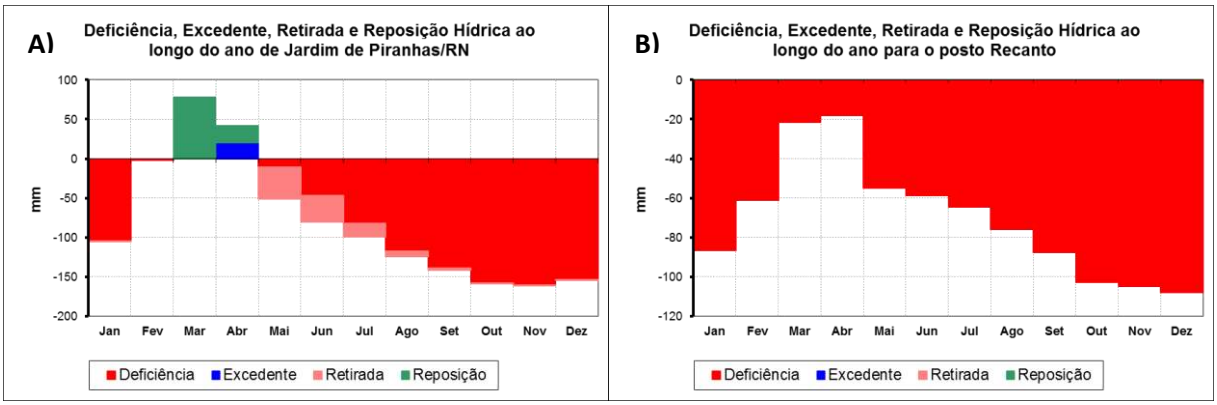
Na porção sul do estado, é possível visualizar na Figura 2, a chuva tem início em dezembro na região imediata de Caicó, obtendo as maiores entradas no trimestral fevereiro-março-abril, semelhantes à imediata de Currais Novos, porém com valores inferiores, exceto nas áreas de altitude. Em Jardim de Piranhas (783,5 mm), similar a Jucurutu, Serra Negra do Norte, São Fernando (situados na região imediata de Caicó), os meses de março e abril não computaram deficiências hídricas, resultando em reposição (Figura 5A). O ARM>CAD no mês de abril, calculando excedente de água.

No que compreende os fatores geográficos que influenciam o clima do RN, destacam-se o relevo e a altitude. A região imediata de Currais Novos sofre o efeito sotavento do planalto da Borborema, como no posto Recanto (em Cerro Corá) com total anual de precipitação igual a 382,8 mm. Na mesma localidade, identificou-se o *déficit* hídrico em todos os meses do ano, totalizando 844,6 mm/ano.

A Figura 5B expõe que a precipitação é sempre menor/igual a evapotranspiração real (ETR) e abaixo da ETP, ou seja, um cenário sem nenhum mês com ARM disponível para plantas.

A Precipitação Efetiva (P-ETP) é sempre negativa, assim, o solo não consegue armazenar água em nenhum período do ano.

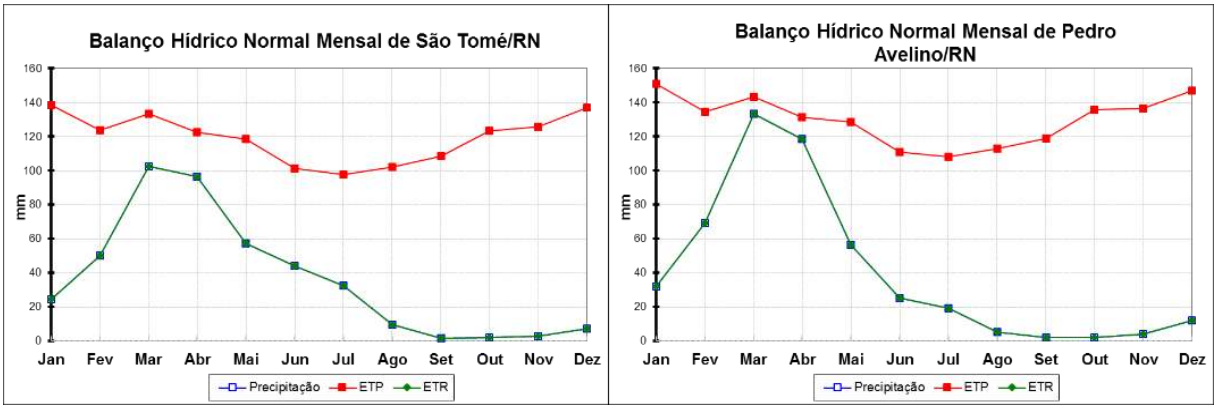
Figura 5 - Deficiência e excedente hídrico dos postos Jardim de Piranhas/RN e Recanto.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O posto da região imediata de Currais Novos coincide com os postos de São Tomé, Pedro Avelino, Pedra Preta, Jardim de Angicos, Lages, entre outros, sendo áreas incompatíveis às exigências agrícolas, situados nas regiões imediatas de São Paulo do Potengi e João Câmara (Figura 6).

Figura 6 - Balanço hídrico mensal dos municípios de São Tomé/RN e Pedro Avelino/RN.

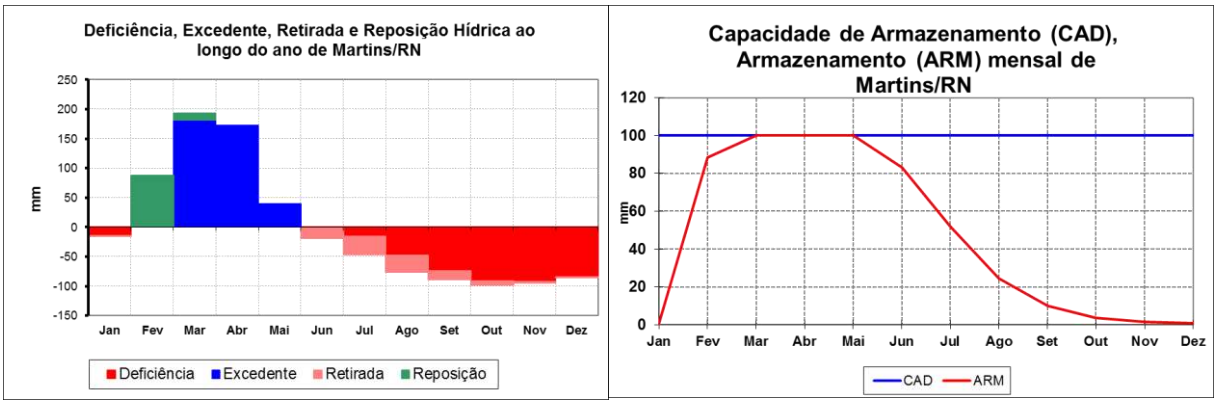


Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A altitude e a orografia combinadas exercem papel fundamental no aumento de precipitações no Rio Grande do Norte, especialmente no município de Martins (1125 mm). É possível analisar, diante da figura 7, a ocorrência de deficiência hídrica em 8 meses (422,5 mm), todavia, observou-se que o solo computa água em todos os meses (AMR>0) com média de 47,1 mm. A reposição da água acontece nos meses de fevereiro e março, anterior ao

período de AMR>CAD, o qual ocorre nos meses de março a maio, calculando perda de água por excesso (392,8 mm).

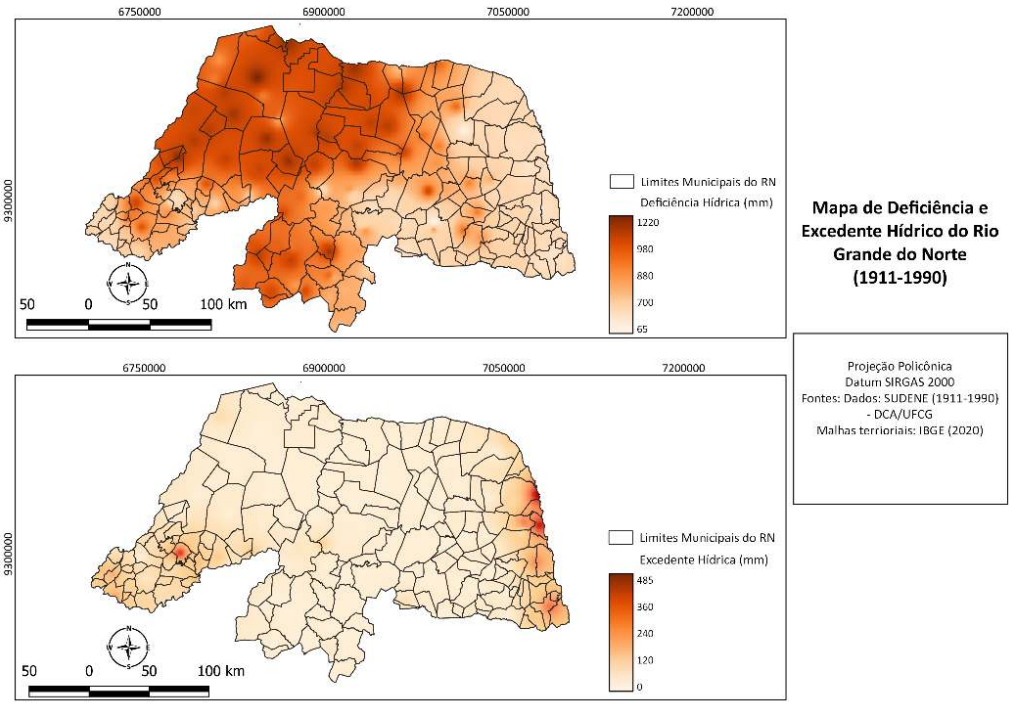
Figura 7 - Cálculo de DEF, EXC e ARM do município de Martins/RN.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A distribuição espacial da deficiência hídrica está disposta na Figura 8. Nota-se que o litoral leste e os locais de maiores altitudes possuem menos deficiência, ocorrendo diminuição no sentido oeste-leste e norte-sul, ou seja, a região geográfica intermediária de Natal apresenta a menor deficiência hídrica, decrescendo conforme se adentra para o interior. A região imediata de Pau dos Ferros também é destaque nessa característica.

Figura 8 - Espacialização do déficit e excedente hídrico no Rio Grande do Norte



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Com relação ao excedente hídrico, apresentado na Figura 8, verifica-se sua ausência predominante ao longo da extensão potiguar. Todavia, as extremidades leste e sudoeste (tromba do elefante) apresentaram significativas respostas, assim como em pontos isolados, como Barão de Serra Branca (em Santana do Matos), Coronel Ezequiel e Baraúna os quais estão sob efeitos do relevo, principalmente.

Refletindo sobre a posição geográfica do Rio Grande do Norte, estado situado na zona equatorial da Terra, há a presença de altos valores anuais de evapotranspiração potencial, em sua maior parte, superiores aos valores pluviométricos, caracterizando restrição hídrica. Pereira *et al.* (2002) falam que "o aumento da temperatura do ar provoca aumento no *déficit* de saturação, tornando maior a demanda evaporativa do ar" (pág. 220), isto é, existe uma alta taxa de evaporação natural, durante todo o ano, no estado.

A média de ETP do RN, dado em milímetros, resultou em 1536 com máximo de 1.919,8 para Mossoró e mínimo de 1.029,3 para Lagoa Nova. Foi observado que os valores mais elevados correspondem, em sua maioria, aos pontos situados no litoral setentrional e no médio oeste: Malhada Vermelha em Itaú (1.893,83), Apodi (1.826,5), Augusto Severo (1.807,4). Em função, entretanto, das temperaturas relativamente mais baixas, verificou-se que nos pontos de Cerro Corá, Lagoa Nova, Serra do Doutor (em Campo Redondo) e Coronel Ezequiel, o potencial de evapotranspiração é consideravelmente menor, inferior a 1140 mm.

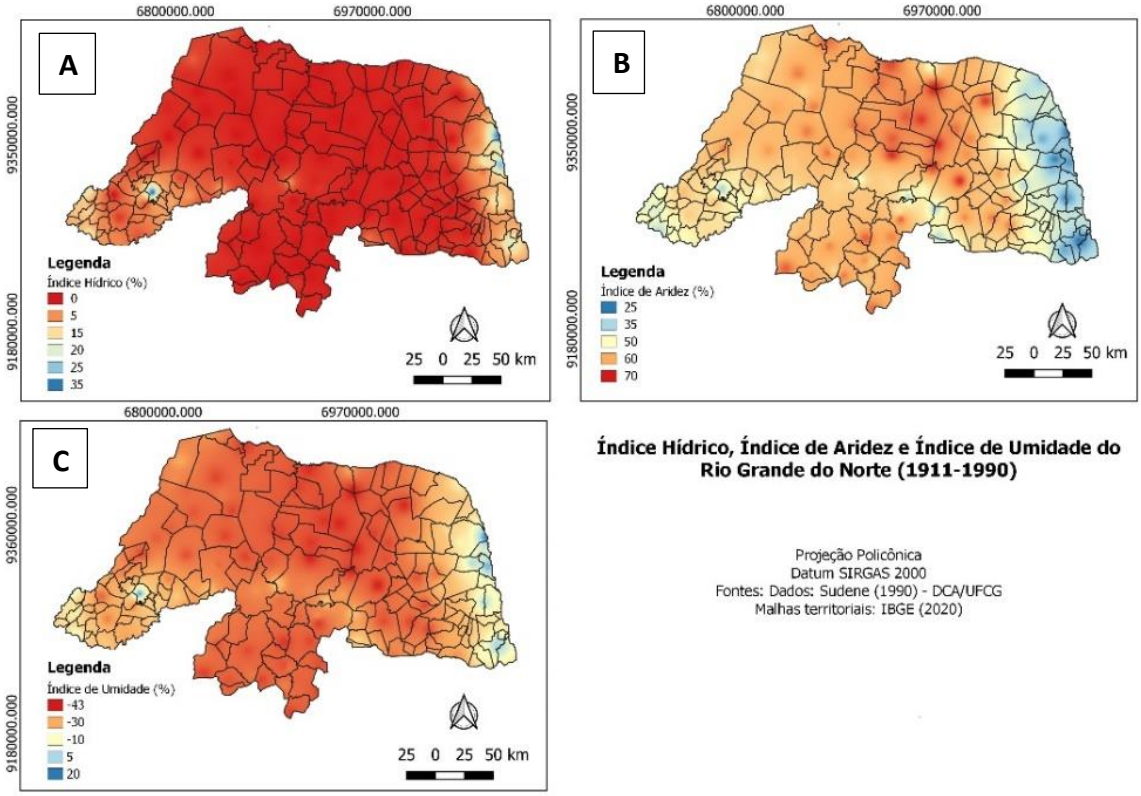
3.2. Classificação Climática do Rio Grande do Norte

O Índice Hídrico (Ih), o qual está relacionado diretamente ao cálculo do excedente hídrico (ver Figura 8), apresentou menor variação dos dados, em decorrência de 77 dos 122 postos pluviométricos apresentarem o valor nulo na variável, como pode ser visualizado na Figura 9A.

O Índice de Aridez (Ia), Figura 9B, apresentou menores taxas no litoral leste e na extremidade sudoeste, por ação da influência direta dos alísios de sudeste e da altitude, respectivamente. É possível encontrar diversas similaridades com a Figura 8 de deficiência hídrica. Percebe-se maior intensidade de aridez no sentido centro-norte com flutuações ao longo do território potiguar.

O Índice de Umidade (Iu) classifica o tipo climático da região. Nessa categoria, o Rio Grande do Norte apresentou três (3) tipos climáticos: subúmido (C2), subúmido seco (C1) e semiárido (D): 5, 52 e 65 pontos, respectivamente. Destacam-se Natal, Jacumã (Ceará-Mirim), São Gonçalo do Amarante, Canguaretama e Martins na característica úmida. A predominância do tipo D e C1 é natural para o restante do estado, destacados na Figura 9C.

Figura 9 - Índices Climáticos para o Rio Grande do Norte.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A análise dos dados obtidos conforme a classificação climática de Thornthwaite revelou sete (7) tipos climáticos para o estado do Rio Grande do Norte, dispostos na Figura 10. As letras maiúsculas indicam tipos climáticos e as minúsculas subtipos climáticos. Assim, o tipo climático **DdA'a'**, que apresenta entre 10 e 12 meses secos e sem excedente hídrico, foi predominante em quase todo o estado.

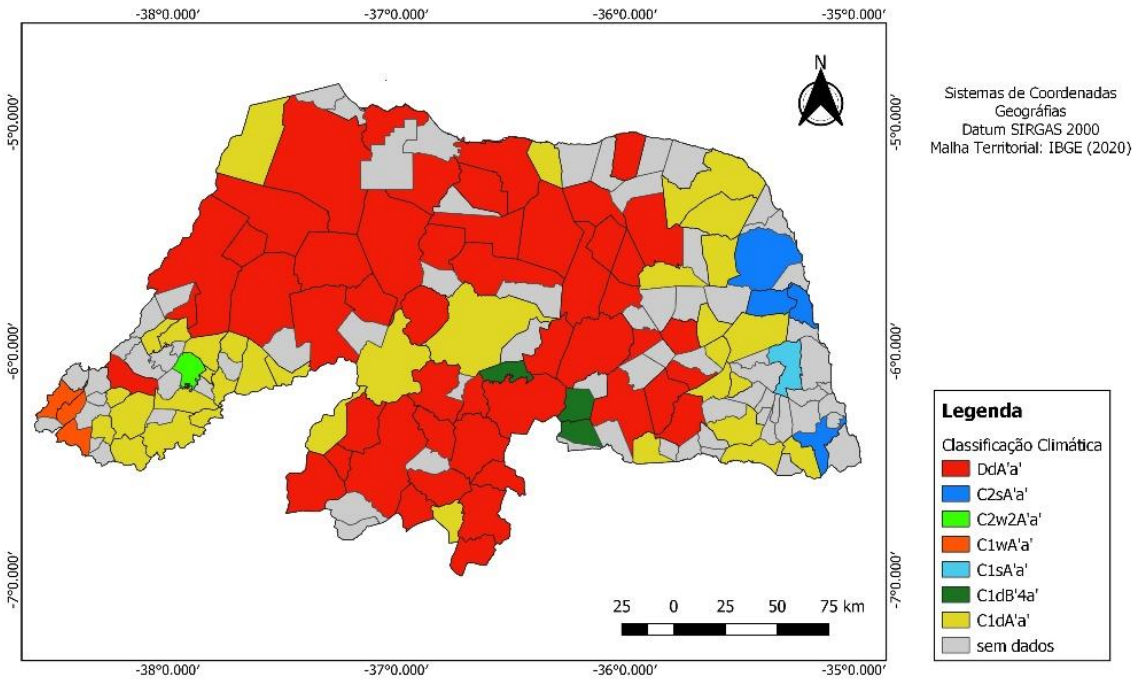
O tipo climático **C1wA'a'** corresponde à extremidade sudoeste, como nos municípios de São Miguel, Coronel João Pessoa e Luiz Gomes, onde predominaram 8 meses secos e excedente hídrico no trimestre março-abril-maio. A tipologia **C1dA'a'** encontrada variou entre 7 e 10 meses secos. Os postos com 7 meses secos obtiveram excedente em junho e julho, pois

estão situados no litoral oriental (como Pureza, Ceará Mirim e Macaíba). O alto oeste e o médio oeste mostraram 9 meses secos com excedente hídrico nos meses março e abril, como Marcelino Vieira e Patu. O tipo **C1dB'4a'** corresponde aos postos que sofrem a influência da altitude, como Cerro Corá, Lagoa Nova, Serra do Doutor e Coronel Ezequiel, resultando em um tipo climático mesotérmico (B'4) devido ao Índice Térmico (IT) está entre 997 e 1140 mm, ao passo que o restante do território abrangeu o tipo climático megatérmico (A'), no qual o IT é maior que 1140 mm. São José de Mipibu enquadrou-se na classificação **C1sA'a'** com 7 meses secos e excedente hídrico em maio, junho e julho, ou seja, clima subúmido seco e moderado excesso no inverno.

Os tipos **C2sA'a'** e **C2w2A'a'** demonstraram pontos de clima subúmido para o litoral leste do RN (Natal, Canguaretama, São Gonçalo do Amarante e Jacumã em Ceará Mirim) com moderada deficiência no verão (s), tendo o excedente no outono-inverno. Contudo, em Martins ocorreu grande deficiência no inverno (w2).

A última chave revelou o subtipo climático (a') para toda a extensão territorial potiguar, em outros termos, o subtipo a' refere-se à concentração restrita de 25% a 28% de evapotranspiração potencial no verão.

Figura 10 – Mapa de Classificação Climática do Rio Grande do Norte.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os resultados aqui apresentados corroboram com diversos trabalhos que têm espacializado as condições hidroclimatológicas do estado do Rio Grande do Norte. O trabalho de Silva e Lucio (2015), apresentou valores Magnitude de Seca - MS entre baixos e moderados na costa leste do RN e valores altos a extremos de MS na parte central do estado. Estudos realizados por Silva *et al.* (2018), Lucena *et al.* (2018) e Aprígio *et al.* (2019) mostraram que o setor leste apresenta as mais altas taxas de precipitação do estado, influenciando na ausência de aridez, assim como em alguns setores do extremo oeste (tromba do elefante) e algumas áreas serranas do interior. Os mesmos estudos mostraram que toda a região central do estado (região intermediária de Caicó e região imediata de Açu), incluindo o litoral norte, apresentam os menores valores de precipitação, altas taxas de ETP e clima semiárido com alta susceptibilidade climática ao processo de desertificação, apresentando padrões espaciais semelhantes aos aqui apresentados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Balanço Hídrico Climatológico de Thornthwaite e Mather (1955) apontou a homogeneidade das condições hídricas do estado do Rio Grande do Norte. A estação chuvosa acaba abruptamente e a alta evapotranspiração não permite o melhor aproveitamento desse recurso nos meses posteriores. Os valores de temperaturas mostraram-se elevados (>24 °C), o trimestre com temperaturas mais amenas corresponde a junho-julho-agosto, enquanto o trimestre mais quente é outubro-novembro-dezembro, sendo esses os meses com os menores índices de precipitação pluviométrica, pois é o período mais seco da região.

Dessa forma, o estado é definido por duas características: um longo período de deficiência hídrica e uma restrita época de entrada de água que, muitas vezes, não consegue calcular como excedente. Verificou-se que o excedente de água no solo possui ausência predominante em quase toda a extensão do estado, com exceção para as extremidades leste e sudoeste. Detectou-se que os valores de ETP variam no espaço regional em função de fatores como exposição aos alísios de sudeste, altitude e relevo, com razão inversa.

No tocante à Classificação Climática, baseada em Thornthwaite (1948), foram utilizados dados de 122 postos pluviométricos, segundo o cômputo do BHC que incluiu o Índice Hídrico (Ih), o Índice de Aridez (Ia) e o Índice de Umidade (Iu).

A Classificação Climática mostrou ser sensível ao efeito do relevo, resultando em 7 tipos climáticos para o RN, sendo eles: **DdA'a'**, **C1wA'a'**, **C1dA'a'**, **C1dB'4a'**, **C1sA'a'**, **C2sA'a'** e **C2w2A'a'**, com predomínio do clima semiárido (D) e o subúmido seco (C1), com pequeno ou nenhum excedente hídrico (d), já que 62% do estado mostrou resultado nulo (Ih), tipo climático megatérmico (A) em 118 pontos e concentração restrita de 25% a 28% de evapotranspiração potencial no verão (a').

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

APRÍGIO, T. R. M.; FARIA, R. M.; LUCENA, R. L.; SOUZA, S. F. F.; CARDOZO, A. S..; SILVA, A. D. G. **Mapeamento da aridez no estado do Rio Grande do Norte**. *In*: PINHEIRO, Lidriana de Souza; GORAYEB, Adryane (org.). Geografia física e as mudanças globais. Fortaleza: Editora UFC, v. 1, p. 1-12, 2019.

AZEVEDO, F. F. Restructuring Production in Rio Grande do Norte, Brazil. **Mercator**, v. 12, n. 2, p. 113–132, 2013. DOI: https://doi.org/10.4215/rm2013.1202.0008.

CASSETTARI, G. A.; DE QUEIROZ, T. M. BALANÇO HÍDRICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA NA BACIA DO RIO JAUQUARA, REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 70-88, 2020.

DCA/UFCG. Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). **Clima**. Campina Grande. Disponível em: http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/. Acesso em: 18 mar. 2021.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6. ed. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GARDIMAN JUNIOR, B. S. *et al*. Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do rio Itapemirim (ES) / Analysis of interpolation techniques for spatial rainfall distribution in river basin Itapemirim (ES). **Revista Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 61–71, 2012. DOI: https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.05.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE - IDEMA. **Anuário Estatístico do Rio Grande do Norte**. Natal: IDEMA, 2019. Disponível em: http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=1357&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Socioecon%C3%B4micos. Acesso em: 16 mar. 2021.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE - IDEMA. **Produto Interno Bruto do Estado e do Municípios**. Secretaria de Estado do Planejamento e das Finanças do Rio Grande do Norte: Natal, 2018. Disponível em:

http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=1359&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=Socioecon%C3%B4micos. Acesso em: 14 mar. 2021.

LUCENA, R. L.; CABRAL JÚNIOR, J. B.; STEINKE, E. T. Comportamento Hidroclimatológico do Estado do Rio Grande do Norte e do Município de Caicó. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 485–496, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-7786333008.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. *In*: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva (org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 25-41.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H.; OPAZZO, D. Análise multiescalar para a compreensão de causas e consequências da variabilidade climática na América do Sul. *In*: SILVA, Charlei Aparecido da; FIALHO, Edson Soares; STEINKE, Ercília Torres. **Experimentos em climatologia geográfica**. Dourados, MS: UFGD, 2014.

NIMER, E.; BRANDÃO, A. M. P. M. **Balanço Hídrico e Clima da Região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 121 p.

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

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

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p. 133-137, 1998.

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

SILVA, B. K. N.; LUCIO, P. S. Characterization of risk/exposure to climate extremes for the Brazilian Northeast—case study: Rio Grande do Norte. **Theoretical and applied climatology**, v. 122, n. 1–2, p. 59–67, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-014-1275-z.

SILVA, P. E. D.; ANDRADE, L. D. M. B.; REIS, J. S. D. Regiões pluviométricas e saúde no Rio Grande do Norte. **Confins**, n. 34, 2018. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.12855.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. **Delimitação do semiárido**. Disponível em: https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/projetos-e-iniciativas/delimitacao-do-semiarido. Acesso em: 02 fev. 2021.

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

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

VALE, T. M. C. *et al*. Subsistence Agriculture Productivity and Climate Extreme Events. **Atmosphere**, v. 11, n. 12, p. 1287, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos11121287.